

Aus der Abteilung für Kinderkardiologie und pädiatrische Intensivmedizin
Klinik / Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Nikolaus Haas



Evaluation eines einfachen Belastungstests mittels Treppensteigens zur
Bewertung der körperlichen Leistungsfähigkeit von adipösen Probanden im
Vergleich zu Probanden mit künstlichem Mehrgewicht

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Katharina Veronika Huber

aus

Gmund am Tegernsee

2024

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Erster Gutachter: Prof. Dr. med. Nikolaus Haas

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Sebastian Michel

Dritter Gutachter: Prof. Dr. Heidi Estner

ggf. weitere Gutachter:

Mitbetreuung durch den

promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Simone Katrin Dold

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 17.10.2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Zusammenfassung:	III
Abstract (English):	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Formelverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
1. Einleitung	1
1.1 Körperliche Fitness	2
1.2 Belastungstests.....	2
1.2.1 Kardiopulmonaler Belastungstest	3
1.2.2 6-Minuten-Gehtest	4
1.2.3 Treppensteigttest	5
1.3 Adipositas	6
1.3.1 Kardiorespiratorische Fitness bei Adipösen	6
1.3.2 Belastungstests bei Adipösen	7
1.4 Einfluss des Körpergewichts auf Belastungstests	8
1.4.1 Einfluss auf den kardiopulmonalen Belastungstest.....	8
1.4.2 Einfluss auf den 6-Minuten-Gehtest.....	8
1.4.3 Einfluss auf den Treppensteigttest.....	8
1.5 Dissertationsvorhaben	9
1.5.1 Zielsetzung.....	9
1.5.2 Hypothesen.....	10
2. Methoden	11
2.1 Probanden	11
2.2 Besondere Hygienemaßnahmen	12
2.3 Ablauf der Untersuchungen	12
2.4 Belastungstestprotokolle	14
2.4.1 6-Minuten Gehtest	14
2.4.2 Treppensteigttest	15
2.4.3 Kardiopulmonaler Belastungstest	18
2.5 Statistische Auswertung.....	20

3. Ergebnisse	21
3.1 Deskriptive Analyse.....	21
3.2 Abhängigkeit der Belastungstest-Parameter vom Gewicht	25
3.2.1 Angegebene Sportlichkeit der Probanden.....	25
3.2.2 Gewichtsabhängigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme	26
3.2.3 Gewichtsabhängigkeit des 6-Minuten-Gehtests	28
3.2.4 Gewichtsabhängigkeit des Treppensteigtests.....	29
3.3 Korrelation zur maximalen Sauerstoffaufnahme bei erhöhtem Gewicht.....	31
3.3.1 Korrelation des 6-Minuten-Gehtest mit der maximalen Sauerstoffaufnahme (Goldstandard)	32
3.3.2 Korrelation des Treppensteigtests mit der maximalen Sauerstoffaufnahme (Goldstandard)	33
4. Diskussion	35
4.1 Diskussion der Methoden.....	35
4.1.1 Probanden	35
4.1.2 Auswertung der Studie.....	36
4.1.3 Untersuchungsablauf	37
4.1.4 Kardiopulmonaler Belastungstest	37
4.1.5 6-Minuten-Gehtest	38
4.1.6 Treppensteigttest	39
4.2 Diskussion der Ergebnisse.....	40
4.2.1 Abhängigkeit der Belastungstests vom Gewicht	40
4.2.2 Korrelation der einfachen Belastungstests mit dem kardiopulmonalen Belastungstest	46
4.2.3 Optimaler einfacher Belastungstests für Adipöse	48
4.3 Ausblick.....	49
5. Literatur	50
Anhang A: Ethikantrag	64
Anhang B: Anamnesebogen	66
Anhang C: Testprotokoll	69
Anhang D: 6-Minuten Gehtest Protokoll	75
Danksagung	77
Affidavit	78
Publikationsliste	79

Zusammenfassung:

Einleitung

Die objektive Einschätzung der kardiorespiratorischen Fitness (CRF) ist bei Adipositas zur Risikoeinschätzung von kardiovaskulären Erkrankungen und Gesamtmortalität entscheidend. Zur Finesseinschätzung werden Belastungstests, wie die Spiroergometrie, der 6-Minuten-Gehtest oder der Treppensteigttest, verwendet. Bei Adipösen stellt die Interpretation dieser Belastungstests aufgrund der erhöhten metabolisch inaktiven Fettmasse eine Herausforderung dar. Aus diesem Grund soll der Einfluss des Gewichts auf die Belastungstests und besonders auf einen neu entwickelten Treppensteigttest (SCT) untersucht werden.

Methode

Die gesunden Probanden im Alter von 18-30 Jahren wurden in Normalgewichtige (Gruppe A), Adipöse (Gruppe B) und künstlich Übergewichtige (Gruppe C) eingeteilt, wobei die künstlich Übergewichtigen aus den Normalgewichtigen mit 25 kg Zusatzgewicht hervorgingen. Es wurden verschiedenen Belastungsuntersuchungen durchgeführt, die Probanden wurden mit dem 6-Minuten-Gehtest (6MWT), dem von uns neu entwickelten Treppensteigttest (SCT) und der Laufband-Spiroergometrie untersucht. Es wurde Geschlecht, Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI sowie die Zielvariablen der Belastungstests erhoben. Hierzu zählen die 6-Minuten-Gehstrecke (6MWD), die Treppensteigzeit (tSCT), der Treppensteig-Index (SCT-Index, siehe Formel 5), die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) und die VO_{2max} bezogen auf das Körpergewicht (VO_{2max}/KG). Die Daten wurden mittels deskriptiver Analyse veranschaulicht. Die Gruppen wurden mithilfe des Mann-Whitney-U-Test verglichen und eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt, um den SCT und 6MWT mit dem Goldstandard, der Spiroergometrie zu vergleichen.

Ergebnis

Insgesamt wurden 59 Probanden eingeschlossen. Es wurden 31 Normalgewichtige mit einem mittleren BMI von $21,7 \text{ kg/m}^2$ und einem mittleren Alter von 22,5 Jahren, welche mit Gewichtsweste die Gruppe der künstlich Übergewichtigen mit einem mittleren BMI von $30,1 \text{ kg/m}^2$ bildeten, und 28 Adipösen mit einem mittleren BMI von $34,2 \text{ kg/m}^2$ und einem mittleren Alter von 26,0 Jahre untersucht.

Der Mann-Whitney-U-Test zeigte im SCT signifikante Unterschiede zwischen den Normalgewichtigen im Vergleich zu den Adipösen und künstlich Übergewichtigen, gemessen an der tSCT (A: 51,6 s vs. B: 63,8 s und C: 64,8 s)

und dem SCT-Index (A: 16,7 W vs. B: 22,0 W vs. C: 18,6 W). Die Adipösen und künstlich Übergewichtigen unterschieden sich nicht in ihrer tSCT, jedoch zeigten die Adipösen im SCT-Index signifikant höhere Werte. Der 6MWT zeigte ebenfalls signifikante Unterschiede in der 6MWD (A: 724,3 m, B: 613,0 m und C: 650,2 m). Die Spiroergometrie wies Unterschiede zwischen Normalgewichtigen und künstlich Übergewichtigen in VO_{2max} (A: 3,3 l/min, B: 3,4 l/min, C: 3,1 l/min) nach, es zeigte sich jedoch keinen signifikanten Unterschied der Normalgewichtigen im Vergleich zu den Adipösen. In der VO_{2max}/KG wurden signifikante Unterschiede zwischen den Normalgewichtigen, den Adipösen und den künstlich Übergewichtigen (A: 51,4 ml/min, B: 32,7 ml/min/kg, C: 33,8 ml/min/kg) aufgezeigt.

Die einfachen Belastungstests wiesen bei Adipösen eine signifikante Korrelation mit der VO_{2max} der Spiroergometrie auf ($p < 0,001$). Die 6MWD zeigte eine moderate ($r = 0,582$), die tSCT eine moderate ($r = 0,572$) und der SCT-Index eine sehr starke Korrelation ($r = 0,822$) mit dem Goldstandard, der VO_{2max} .

Diskussion

Das Körpergewicht hat einen signifikanten Einfluss auf die Messung der CRF. Hierbei erscheint es unerheblich, ob es sich um ein künstliches Zusatzgewicht oder die inerte Fettmasse bei Adipösen handelt. Wir konnten zeigen, dass in den Belastungstests sowohl die Adipösen als auch die künstlich Übergewichtigen im Vergleich zu den Normalgewichtigen unterschiedliche Ergebnisse erreichten. Bei dem 6MWT liefen die Adipösen und künstlich Übergewichtigen eine geringere Strecke als die Normalgewichtigen. Bei dem SCT benötigten die Adipösen und künstlich Übergewichtigen länger für das Treppensteigen im Vergleich zu den Normalgewichtigen. Die Adipösen erreichten höhere Werte im SCT-Index, welcher eine höhere Leistung beim Treppensteigen impliziert als die künstlich Übergewichtigen und Normalgewichtigen. Bei der Spiroergometrie ergaben sich Unterschiede in der VO_{2max} zwischen den Normalgewichtigen und den künstlich Übergewichtigen, jedoch wurden keine Unterschiede der Normalgewichtigen im Vergleich zu den Adipösen festgestellt. In VO_{2max}/KG wurden Unterschiede zwischen den Normalgewichtigen, den Adipösen und den künstlich Übergewichtigen gezeigt. Die oben genannten Ergebnisse suggerieren eine starke Gewichtsabhängigkeit der Belastungstests.

Der SCT scheint ein idealer einfacher Belastungstest bei Adipösen zu sein, da er stark mit dem CPET korreliert und könnte somit als einfacher, kostengünstiger Belastungstest z.B. für Screening-Untersuchungen verwendet werden.

Abstract (English):

Objectives An objective evaluation of cardiorespiratory fitness (CRF) is important for the risk evaluation of cardiovascular disease especially in obese individuals. For the measurement of CRF the cardiopulmonary exercise test by treadmill or bicycle, six-minute walking test or stair climbing tests are used. In obese individuals the interpretation of the exercise tests are challenging due to the increased inert fat mass. Therefore, the aim of our study was to evaluate the impact of weight on the CRF in obese and artificially overweight individuals with a simple new developed stair climbing test (SCT). The results were compared with the standardized cardiopulmonary exercise test (CPET) and the six-minute walking test (6MWT).

Methods We evaluated three groups of healthy individuals between 18- and 30-years of age. The normal weight group (group A), the obese group (group B), and the artificial overweight group (group C). The artificial overweight group was generated by the normal weight participants, who were asked to wear a 25 kg weight vest. The groups were compared during three different exercise tests, the six-minute-walking test (6MWT), the stair climbing test (SCT) and the cardiopulmonary exercise test (CPET). Gender, age, height, body mass, body mass index and results of the exercise tests were recorded. The results of the exercise tests included the six-minute walking distance (6MWD), the stair climbing time (tSCT), the stair climbing index (SCT-Index, please refer Formel 5), the maximal oxygen uptake (VO_{2max}), and the VO_{2max} standardized by body mass (VO_{2max}/KG). The results were analyzed with descriptive analysis. The groups were compared using the Mann-Whitney U test. The linear regression analysis was performed to compare SCT and 6MWT with the gold standard, CPET.

Results A total of 59 individuals were studied, among whom 31 were normal weight (mean BMI 21.7 kg/m²; mean age 22.5 years). They formed the artificial overweight group with an additional weight vest (mean BMI 30.1 kg/m²), and 28 participants were obese (mean BMI 34.2 kg/m²; aged 26.0 years).

The Mann-Whitney-U test showed significant differences of the normal weight compared to the obese and artificially overweight individuals during the SCT as measured by tSCT (A: 51.6 s vs. B: 63.8 s und C: 64.8 s) and SCT-Index (A: 16.7 W vs. B: 22.0 W vs. C: 18.6 W). There was no difference in the obese and the artificially overweight group regarding the tSCT, but the SCT index was significantly higher in the obese group. The 6MWT showed significant differences in 6MWD (A: 724.3 m, B: 613.0 m, and C: 650.2 m). During spiroergometry differences in VO_{2max} between normal weight and artificially overweight subjects were measured (A: 3.3 l/min, B: 3.4 l/min, C: 3.1 l/min). There was no significant

difference in the normal weight subjects compared to the obese subjects. Whereas significant differences were found in VO_{2max}/KG between the normal weight, obese, and artificially obese individuals (A: 51.4 ml/min, B: 32.7 ml/min/kg, C: 33.8 ml/min/kg).

The simple exercise tests showed a significant correlation with CPET in obese individuals ($p < 0.01$) The 6MWD ($r = 0.582$) and the tSCT showed a moderate ($r = 0.572$), the SCT index a very strong correlation ($r = 0.822$) with the gold standard (VO_{2max}).

Discussion/Conclusion Bodyweight is an important factor regarding CRF. It seems to be of no significance for exercise performance if the if the weight is artificial or not. During the 6MWT, the obese and artificially obese achieved a significantly lower 6MWD as normal weight subjects. In the SCT, the obese and artificially overweight had a significantly higher tSCT and SCT index compared with the normal weight subjects. During CPET, there was a significant difference between normal weight and artificially obese measured regarding VO_{2max} , but no significant difference could be measured between normal weight and obese individuals. In VO_{2max}/KG , significant differences were shown between the normal weight, obese, and artificially obese.

Therefore this simple new SCT showed a good correlation in comparison to the results obtained with the gold standard. It therefore seems to be an appropriate simple way to measure CRF in healthy obese individuals.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ein Stockwerk des Treppenhauses: P, Proband; C, Connex Spot Monitor; V, Versuchsleiter	16
Abbildung 2: Vergleich von Gewicht (A) und BMI (B) zwischen den Gruppen	23
Abbildung 3: Korrelation der wöchentlichen Sportausübung und dem Körpergewicht.....	25
Abbildung 4: Korrelation zwischen VO_{2max} (A) / VO_{2max}/KG (B) und Körpergewicht.....	26
Abbildung 5: Vergleich der VO_{2max} (A) und VO_{2max}/KG (B) zwischen den Gruppen.....	27
Abbildung 6: Korrelation zwischen 6MWD und Körpergewicht	28
Abbildung 7: Vergleich der 6MWD zwischen den Gruppen.....	28
Abbildung 8: Korrelation zwischen tSCT (A) / SCT-Index (B) und Körpergewicht.....	29
Abbildung 9: Vergleich der tSCT (A) und des SCT-Index (B) zwischen den Gruppen.....	30
Abbildung 10: Korrelation der 6MWD mit der VO_{2max} (A) und VO_{2max}/KG (B)	32
Abbildung 11: Korrelation der tSCT mit der VO_{2max} (A) und VO_{2max}/KG (B)	33
Abbildung 12: Korrelation des SCT-Index mit der VO_{2max} (A) und VO_{2max}/KG (B).....	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ablauf des Treppensteigttest.....	17
Tabelle 2: Laufband-Protokoll nach DGPK (105).....	19
Tabelle 3: Deskriptive Statistik der Gruppen	22
Tabelle 4: Ergebnisse der Belastungstests	24
Tabelle 6: Korrelationen der einfachen Belastungstests mit CPET	31

Formelverzeichnis

Formel 1: Body-Mass-Index (63).....	12
Formel 2: Körperoberfläche (104)	12
Formel 3: Waist-to-Hip-Ratio.....	12
Formel 4: 6-Minuten-Gehstrecke (6MWD)	14
Formel 5: Treppensteig-Index (SCT-Index).....	17
Formel 6: maximale Herzfrequenz (111)	19
Formel 7: Umrechnungsformel SCT-Index.....	31
Formel 8: Physikalische Leistung.....	39
Formel 9: Physikalische Hubarbeit.....	40

Abkürzungsverzeichnis

6MWD	six-minute-walking-distance / 6-Minuten Gehstrecke
6MWT	six-minute-walking-test/ 6-Minuten Gehstest
ACCP	American College of Chest Physicians
ATS	American Thorax Society
BMI	Body-Mass-Index
CPET	cardiopulmonary exercise test / kardiopulmonaler Belastungstest
CRF	cardiorespiratory fitness / kardiorespiratorische Fitness
DGPK	Deutsche Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie
engl.	englisch
EKG	Elektrokardiogramm
kg	Kilogramm
m	Meter
RQ	Respiratorische Quotient
s	Sekunde
SCT	stair climbing test / Treppensteigttest
SCT-Index	stair climbing test index / Treppensteigttest-Index
tSCT	stair climbing time / Treppensteigzeit
VO_{2max}	maximale Sauerstoffaufnahme
VO_{2max}/KG	Verhältnis von maximaler Sauerstoffaufnahme zu Körpergewicht
W	Watt
WHO	World-Health-Organisation /Weltgesundheitsorganisation

1. Einleitung

Die objektive Einschätzung der körperlichen Fitness ist sowohl bei Gesunden, bei Patienten mit chronischen Erkrankungen als auch bei Adipositas zur kardiovaskulären Risikoeinschätzung entscheidend. Eine erniedrigte kardiorespiratorische Fitness erhöht nicht nur das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen, sie erhöht konsekutiv auch die Gesamtmortalität (1, 2). Zur Finesseinschätzung wird bisher ein standardisierter kardiopulmonaler Belastungstest, die Laufband- oder Fahrrad-Spiroergometrie, empfohlen (3). Diese ist jedoch zeit- und kostenaufwändig und zudem nicht überall verfügbar. Körperliche Belastungen wie Gehen oder Treppensteigen sind Aktivitäten des alltäglichen Lebens und oft als direkte oder indirekte Konsequenz der eingeschränkten körperlichen Fitness entsprechend reduziert. Aus oben genannten Gründen wären einfache Belastungstests, wie der 6-Minuten-Gehtest oder der Treppensteigttest als einfache kostengünstigere Alternative zur raschen Einschätzung des individuellen Fitnesslevels und zur schnellen Evaluation nach medikamentöser Therapie, Operationen oder Life-Style-Modifikation wünschenswert. Bei Adipösen stellt die Interpretation der Ergebnisse von Belastungstests, wegen der erhöhten Fettmasse, eine Herausforderung dar (4). Der Einfluss des Mehrgewichts auf den Treppensteigttest soll daher in vorliegender Arbeit untersucht werden.

1.1 Körperliche Fitness

Die Körperliche Fitness umfasst nach der Definition des US Department of Health and Human Services das Zusammenspiel aus kardiorespiratorischer Fitness (CRF), Muskelkraft, Flexibilität und Koordination (5).

Der CRF, gemessen an der maximalen Sauerstoffaufnahme, kommt eine entscheidende Bedeutung zu, da diese stark mit der Gesundheit und den Gesundheitsrisiken korreliert (1, 6–20). Inzwischen gibt es eine Vielzahl an Publikationen, die den Zusammenhang zwischen der CRF und der Gesundheit untersuchen. Die CRF zeigt dabei eine inverse Korrelation mit kardiovaskulären Erkrankungen und der Gesamtmortalität bei Gesunden (1, 6–11, 19) und Adipösen (12–16, 19, 20). Eine erniedrigte CRF gilt als starker und unabhängiger Risikofaktor für kardiovaskuläre Erkrankungen und eine erhöhte Morbidität und Mortalität (1, 2, 19, 20), wohingegen eine erhöhte CRF als protektiver Faktor angesehen wird (2, 18).

Aufgrund dieses starken Zusammenhangs und der weit verbreiteten Referenzwerte (21) wird die Erhebung der CRF als neuer Standardwert neben den gängigen Vitalparametern empfohlen (2). Das Erheben der CRF und damit das frühzeitige Erkennen einer herabgesetzten CRF bietet einen präventiven Ansatz, da bei einer erniedrigten CRF bereits eine geringe Steigerung der körperlichen Aktivität das kardiorespiratorische Risiko effektiv senken (2, 6, 19).

1.2 Belastungstests

Es gibt viele unterschiedliche Möglichkeiten die CRF abzuschätzen. Diese reichen von einfachen Fragenstellungen bis hin zu hochtechnischen Belastungsuntersuchungen. Die CRF wird häufig durch standardisierte Fragebögen oder Fragen evaluiert: „Wie viele Treppen können Sie steigen?“ oder „Wie viele Meter können Sie gehen?“. Es handelt sich bei der Antwort jedoch um eine subjektive Auskunft, die die wirkliche CRF häufig unter- oder überschätzt und demzufolge nur eingeschränkt beurteilt werden sollte (22). Aus diesem Grund ist die objektive Einschätzung der CRF mittels standardisierter Messwerten einer subjektiven Befragung vorzuziehen (23).

Eine objektive Einschätzung der CRF wird durch einfache oder komplexe Belastungstest ermöglicht (2, 3). Im Folgenden wird auf die Spiroergometrie als kardiopulmonalen Belastungstest und den 6-Minuten-Gehtest eingegangen. Zudem werden derzeit vermehrt Treppensteigttests, als Möglichkeit einer standardisierten Erhebung der CRF diskutiert (24). Es werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren erläutert.

1.2.1 Kardiopulmonaler Belastungstest

Der kardiopulmonaler Belastungstest (engl. cardiopulmonary exercise test; CPET, CPX), auch als Spiroergometrie bekannt, wird derzeit als Goldstandard der objektiven Belastungstests anerkannt. Es handelt sich um einen hochtechnischen Belastungstest, der auf dem Fahrradergometer oder dem Laufband durchgeführt wird. Für beide Geräte existieren eine Vielzahl an maximalen und submaximalen Belastungsprotokollen (3, 25). Die maximale Sauerstoffaufnahme bei Ausbelastung stellt den Goldstandard für die Messung der CRF dar.

Neben der Abschätzung der CRF gibt es nach den Leitlinien der American Thorax Society (ATS) und das American College of Chest Physicians (ACCP) (3) viele weitere Indikationen für die Durchführung des CPET. Der CPET kann eine verminderte Belastbarkeit frühzeitig aufdecken. Zudem eignet er sich zur Bestimmung des Ausmaßes der Einschränkung und zur Identifizierung der zugrunde liegenden kardiologischen oder pulmonalen Ursache. Außerdem ist der CPET bei Patienten mit kardiovaskulären oder respiratorischen Erkrankungen zur Risikoeinschätzung hilfreich, um die Schwere oder den Verlauf der Erkrankung zu beurteilen. Ebenso kann mithilfe des CPET die Evaluation von Rehabilitationsmaßnahmen, eines Transplantationsvorhabens oder des Operationsrisiko durchgeführt werden.

Während des CPET werden die Atemgase kontinuierlich analysiert. Dies ermöglicht eine direkte Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), welche einen objektiven Parameter und den Goldstandard der CRF-Messung darstellt (17, 25). Es handelt sich um eine nichtinvasive und dynamische Untersuchung, bei der neben den Atemvariablen weitere Vitalparameter mittels 12-Kanal-Elektrokardiogramm, Pulsoxymetrie und Blutdruckmessung überwacht werden. Durch dieses umfangreiche Monitoring können Veränderungen der Vitalparameter schnell erkannt und bei pathologischen Auffälligkeiten die Belastungsuntersuchung jederzeit vorzeitig beendet werden. Außerdem können die Belastungsreaktionen von kardiovaskulärem, respiratorischem und muskuloskelettalem System objektiv beurteilt, auseinander divergiert und somit die der Einschränkung zugrunde liegende Ursache genauer abgeschätzt werden. (3)

Ein Nachteil des CPET ist die begrenzte Verfügbarkeit. Dies ist auf das kostenintensive Equipment und die komplexe Auswertung zurückzuführen (26) Die Kosten für Laufband, BGA-Gerät, Auswertungseinheit und Wartung belaufen sich heutzutage auf ca. 50.000 €. Hinzukommt, dass die Durchführung mit circa 60 Minuten sehr zeitintensiv ist und speziell geschultes Personal benötigt wird.

1.2.2 6-Minuten-Gehtest

Der 6-Minuten Gehtest (engl. Six-minute walking-test, 6MWT) ist ein einfacher, standardisierter submaximaler Belastungstest (23). Eine Einschätzung der CRF ist durch eine innerhalb von sechs Minuten zurückgelegte Gehstrecke möglich (27–29).

Schon früh wurden Korrelationen zwischen dem Sauerstoffverbrauch und der Laufgeschwindigkeit nachgewiesen (30, 31). Daher wurde die zurückgelegte Strecke im 6MWT bei gesunden Erwachsenen zur Einschätzung der VO_{2max} (27, 29) oder zur Einteilung in Fitnesslevel (28) untersucht. Der 6MWT kann neben der Abschätzung der CRF besonders bei Erkrankten zur Erhebung des funktionellen Status oder zur Therapieevaluation eingesetzt werden und lässt somit einen Rückschluss auf das Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko zu. Er wird vor allem bei Patienten mit eingeschränkter CRF mit z.B. Lungen- oder Herzerkrankungen angewandt (23).

Der 6MWT ist einfach und fast überall durchführbar, da er wenig Zeit und Equipment (Stoppuhr, langer Gang und zwei Pylonen) erfordert (23). Die einfache und vertraute Belastungsform, das Gehen, bildet die Leistung im Alltag gut ab (32, 33). Die Durchführung des 6MWT ist ebenfalls bei schwerkranken Patienten möglich, da es sich hierbei um eine kurze, für den Patienten alltägliche Belastung handelt (23, 34). Der 6MWT zeigt vor allem die Herz- und Lungenfunktion, deshalb wird dieser Test besonders bei Kardiologen und Pulmologen verwendet (35).

Nachteilig erscheint die eingeschränkte Differenzierung der CRF bei durchschnittlich fitten Gesunden, hier wird die Bewertung entsprechend ungenau (28). Hinzu kommt, dass der 6MWT die Antwort aller beteiligten Systeme nur gemeinsam erfassen kann und somit bei einer zugrunde liegenden Erkrankung keine Unterscheidung liefert, welches Organsystem betroffen ist. Aus einer eingeschränkten Belastbarkeit im 6MWT können keine spezifischen oder diagnostischen Aussagen getroffen werden, jedoch kann eine weitere Diagnostik eingeleitet werden (23). Aufgrund der divergierenden Datenlage wird der 6MWT durch die European Respiratory Society und European Society of Thoracic Surgery z.B. nicht zur Evaluation der Operabilität bei Lungenresektionen empfohlen (36).

1.2.3 Treppensteigttest

Der Treppensteigttest (engl. Stair-climbing-test, SCT) kann als submaximaler oder maximaler Belastungstest durchgeführt werden (37). Beim maximalen SCT wird die zurückgelegte Höhe angegeben. Früher wurde die Höhe in Anzahl der Stufen oder Stockwerke gezählt und später aufgrund der besseren Vergleichbarkeit, bei fehlendem Standardtreppenmaß, in Metern gemessen (36, 38–49). Beim submaximalen SCT ist die Höhe vorgegeben, die benötigte Zeit wird in Sekunden erfasst (34, 50–55) bzw. die hieraus resultierende Steiggeschwindigkeit berechnet (56–58). Die Steiggeschwindigkeit ermöglicht die bessere Vergleichbarkeit des SCT zwischen Studien mit unterschiedlich zurückgelegten Höhen.

Der SCT scheint für die einfache Einschätzung der CRF nützlich zu sein, da die Ergebnisse des SCT mit der CRF bei Gesunden korrelieren (59). Es wurden ebenfalls Korrelationen zwischen der VO_{2max} und der Höhe, der Treppensteigzeit sowie der Steiggeschwindigkeit bei Erkrankten nachgewiesen und Cut-Off-Werte gebildet (44, 45, 51, 56, 57). Bisher gibt es kein einheitliches Vorgehen oder Protokoll zum SCT, weshalb diverse Varianten verwendet werden, um z.B. das Operationsrisiko bei Lungenresektionen oder abdominalen Eingriffen zu beurteilen und den funktionellen Status bzw. den Therapieverlauf bei Erkrankten abzuschätzen (34, 50–55, 60–65).

Die VO_{2max} ermittelt durch einen CPET ist der Goldstandard zur Risikoevaluation. Es gibt verschiedene Studiendesigns, die eine signifikante Korrelation der Variablen des Treppensteigttest mit der VO_{2max} oder dem postoperativen Komplikationsrisiko zeigen (40–43, 47, 48, 52–54, 66).

Ähnlich wie beim 6MWT handelt es sich beim SCT um einen einfach Belastungstest, der Ressourcen schonend (Zeit, Kosten und Equipment) durchgeführt werden kann (37, 46). Hierfür werden lediglich eine Stoppuhr, ein Metermaß und ein Treppenhaus benötigt.

Die Organsysteme können zwar gemeinsam betrachtet werden, aber die Ursache der Einschränkung kann nicht genau differenziert werden (3). Es existieren sehr viele unterschiedliche Varianten des SCT, ohne zugrunde liegendem standardisiertem Protokoll zugrunde liegt. Die Vergleichbarkeit und Etablierung von Referenzwerten ist dadurch erschwert (24).

1.3 Adipositas

Adipositas bezeichnet pathophysiologisch eine abnormale Fettanlagerung im Körper und wird von der Weltgesundheitsorganisation (engl. World Health Organisation, WHO) bei Erwachsenen unabhängig von Alter und Geschlecht ab einem Body-Mass-Index (BMI) von $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ definiert. Der BMI berechnet sich aus Körpergewicht in Kilogramm dividiert durch Körpergröße in Metern im Quadrat (siehe Formel 1, S.12). (67, 68)

Adipositas hat eine hohe gesundheitspolitische Relevanz, da sich die Prävalenz in den letzten 40 Jahren verdreifacht hat, sodass 2016 mehr als 650 Millionen (13%) der erwachsenen Weltbevölkerung (67) und 2015 jeder fünfte (20,9%) Deutsche von Adipositas betroffen war (69). Adipositas ist mit einer Vielzahl an Komorbiditäten assoziiert (67, 69–71), womit erhöhte Gesundheitskosten (72) und eine erhöhte Mortalität einhergehen (73–75). Allein die direkten Kosten machen 0,7 – 2,8% der gesamten Gesundheitskosten aus und sind damit im Vergleich zu Normalgewichtigen um 30% erhöht (76). Die Kosten für das Gesundheitssystem und die Gesellschaft steigen (77) und wurden bereits 2003 in Deutschland bei 12 Millionen Erwachsenen mit Adipositas auf über zwei Milliarden geschätzt (78).

1.3.1 Kardiorespiratorische Fitness bei Adipösen

Adipositas ist ebenso wie eine erniedrigte CRF (6) ein Risikofaktor für kardiovaskuläre Erkrankungen und Gesamtmortalität (16, 67, 68, 79, 80). Im Vergleich zu Normalgewichtigen haben adipöse Frauen ein um 28% und adipöse Männer ein um 20 % erhöhtes Risiko für die Gesamtmortalität (75). Zwischen den beiden Risikofaktoren wurde keine signifikante Interaktion gefunden, somit geht man davon aus, dass es sich um unabhängige Risikofaktoren handelt (6, 79–81).

Lee et al. (12) und Wei et al. (13) zeigten in ihren Studien, dass Adipöse mit einer hohen CRF ein mit Normalgewichtigen vergleichbares kardiovaskuläres Risiko und ein niedrigeres Risiko als unfitte Normalgewichtige aufweisen. Dieses Phänomen wurde später als Fit-but-Fat-Paradigma bezeichnet (71, 82). Es folgten viele epidemiologische Studien, die den Zusammenhang zwischen Adipositas, kardiorespiratorischer Fitness und deren Auswirkung auf das Gesundheitsrisiko untersuchten. In der Literatur wurde diskutiert, ob eine ausreichende CRF die negativen Einflüsse von Adipositas aufhebt (12, 79, 83) oder lediglich reduziert (15, 80, 84). Einigkeit besteht darin, dass die CRF invers und die Fettleibigkeit gleichsinnig mit dem Morbiditäts- sowie Mortalitätsrisiko assoziiert ist. Mögliche Ursachen der abweichenden Ergebnisse können durch

unterschiedliche Messmethoden der Fitness (Fragebogen, unterschiedliche Belastungstests) oder verschieden gewählten Endpunkten entstanden sein (84, 85). Hier wäre ein einfacher, aber trotzdem exakter und reproduzierbarer Belastungstest für die bessere Vergleichbarkeit der Studien und deren praktische Umsetzung sinnvoll.

Es sollte besonders bei unfitten Adipösen eine Erhöhung der CRF angestrebt werden (82), da Adipöse mehr als Normalgewichtige (86) und Unfitte mehr als Fitte (2, 6) von einer Verbesserung der CRF profitieren. Wei et al. postulierte eine um 44 % reduziertes Mortalitätsrisiko bei fitten adipösen Männern (13).

1.3.2 Belastungstests bei Adipösen

Belastungstests sind notwendig, um eine niedrige CRF zu erkennen und zu objektivieren. Dies hat vor allem bei Adipösen einen hohen Stellenwert, da die CRF in die klinischen Entscheidungsfindung oder in ein Prädiktionsmodell miteinbezogen werden könnte (6, 13, 87). Als Prädiktor für das Outcome von kardiovaskulären Erkrankungen, Apoplex, Herzinsuffizienz oder Operationen ermöglicht die CRF eine bessere Risikoeinschätzung (2). Das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und die Gesamtmortalität kann verringert werden, indem eine erniedrigte CRF gezielt verbessert wird (2). Beispielsweise empfiehlt die American Heart Association (AHA) (74) das Erheben der CRF zur präoperativen Risikobewertung bei Patienten mit Adipositas. Jedoch stellt die Interpretation von Belastungstest bei Adipositas eine besondere Herausforderung dar, da es keine Normwerte (4) zur Interpretation der CPET bei Adipositas gibt.

1.4 Einfluss des Körpergewichts auf Belastungstests

Die Standardpopulation zum Erfassen von Normwerten bei Belastungstests hat oft einen BMI unter 30 kg/m^2 und schließt somit Adipöse aus. Bei Adipösen ist der Einfluss des durch Fettmasse erhöhten Körpergewichts auf die Ergebnisse der Belastungstests für die Interpretation jedoch von nicht zu vernachlässigender Bedeutung.

1.4.1 Einfluss auf den kardiopulmonalen Belastungstest

Oft wird zur Bestimmung der CRF die auf das Körpergewicht bezogene $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{VO}_{2\text{max}}/\text{KG}$) verwendet (88). Besonders bei Adipösen nimmt $\text{VO}_{2\text{max}}/\text{KG}$ trotz steigender absoluter $\text{VO}_{2\text{max}}$ mit Zunahme des Körpergewichts ab. Verschiedene Studien beobachteten eine inverse Korrelation zwischen Körpergewicht und $\text{VO}_{2\text{max}}/\text{KG}$ (89–93), sowie eine direkte Korrelation mit der absoluten $\text{VO}_{2\text{max}}$ (89, 92–95). Verwendet man $\text{VO}_{2\text{max}}/\text{KG}$ wird somit die CRF bei Adipösen unterschätzt (3, 96).

1.4.2 Einfluss auf den 6-Minuten-Gehtest

Bei Normalgewichtigen ist die zurückgelegte Strecke im 6MWT (6MWD) nicht signifikant mit dem Körpergewicht assoziiert (97). Betrachtet man Adipöse nimmt die 6MWD mit Zunahme des BMI bzw. des Körpergewichts ab. Diese Ergebnisse können durch eine Erhöhung der Arbeitsbelastung des 6MWT bei erhöhtem Körpergewicht der Adipösen erklärt werden, welche konsekutiv eine Reduktion der 6MWD bei gleicher verrichteten Arbeit mit zunehmendem Körpergewicht bedingt (98). Studien, die diese Theorie belegen, schlossen jedoch nur Adipöse mit einem BMI unter 35 kg/m^2 ein (99, 100), sodass der Effekt des Körpergewichts bei höheren BMI Klassen unklar bleibt.

1.4.3 Einfluss auf den Treppensteigttest

Beim SCT ist die Steiggeschwindigkeit mit zunehmendem Körpergewicht geringer (101, 102). Die aus dem Körpergewicht und der Steiggeschwindigkeit errechnete Leistung nimmt mit dem Körpergewicht (101–104) und dem BMI (105) hingegen zu. Auch bei diesem Belastungstest ist die Leistung pro Kilogramm Körpergewicht negativ mit dem Körpergewicht assoziiert (102).

Um den Einfluss der erhöhten inaktiven Masse auf den SCT zu simulieren, wurde Untersuchungen mit künstlichem Zusatzgewicht durchgeführt. Daraus ergab sich eine erhöhte Leistung durch die erhöhte inaktive Masse sowohl bei den Adipösen, als auch bei den Normalgewichtigen mit Zusatzgewicht (101, 102, 106, 107).

1.5 Dissertationsvorhaben

Die objektive Einschätzung der kardiorespiratorischen Fitness (CRF) ist bei Adipositas besonders wichtig, da eine erniedrigte CRF mit einem erhöhten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und Gesamtmortalität einhergeht. Bei adipösen Personen stellt die Interpretation der Ergebnisse von Belastungstests, wegen der erhöhten metabolisch inaktiven Fettmasse, eine Herausforderung dar. In vorangegangenen Studien konnte ein Zusammenhang hinsichtlich der mittels CPET (Goldstandard) und dem standardisierten 6-Minuten Gehstest erhobenen CRF und dem Mehrgewicht gezeigt werden. Bisher gab es nur wenige Untersuchungen zum Einfluss des Körpergewichts von gesunden Adipösen auf das Treppensteigen. Besonders für adipöse Patienten ist es wichtig, einen einfachen und präzisen Belastungstest zu generieren, um die Untersuchungsfrequenz zu steigern und somit die Mortalität und Gesundheitskosten zu reduzieren.

1.5.1 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Dissertation ist es daher, den Einfluss des Körpergewichts auf die unterschiedlichen Belastungstests zu untersuchen, um die CRF bei Adipösen besser objektivieren zu können. Der Fokus liegt hierbei v.a. auf dem neu entwickelten Treppensteigttest. Unter der Annahme, dass die adipösen Probanden die gleiche Leistung erbringen müssen wie die normalgewichtige Gruppe, gehen wir aufgrund des physikalischen Zusammenhangs davon aus, dass mit steigendem Gewicht mehr Zeit für das Treppensteigen benötigt wird. Deshalb soll in der Haupthypothese der Einfluss eines erhöhten Körpergewichts auf die Variablen des SCT überprüft werden.

In den Nebenhypothesen werden weitere Fragen eruiert. Unter anderem soll verglichen werden, ob die Normalgewichtigen mit Zusatzgewicht ähnliche Ergebnisse wie die Adipösen erzielen. Außerdem wird die Korrelation der Ergebnisse der einfachen Belastungstests bei erhöhtem Körpergewicht mit dem Goldstandard verglichen. Abschließend stellt sich die Frage, welcher einfache Belastungstest besser geeignet ist, die Spiroergometrie als Screeningtest zu ergänzen oder in speziellen Fragestellungen zu ersetzen.

1.5.2 Hypothesen

Um den Einfluss von Körpergewicht auf unterschiedliche Belastungstests zu untersuchen, wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

1. Das Körpergewicht hat bei den Belastungstests (CPET, 6MWT, SCT) einen Einfluss auf die Aussagekraft der CRF bei Probanden.
2. Der Einfluss des Mehrgewichts bei Adipösen lässt sich bei gesunden Normalgewichtigen mit künstlichem Mehrgewicht simulieren.
3. Die erhobenen Parameter der einfachen Belastungstests (6MWT, SCT) korrelieren bei Adipösen und Probanden mit künstlichem Mehrgewicht mit der maximalen Sauerstoffaufnahme der Spiroergometrie.
4. Der Treppensteigttest eignet sich bei Adipösen besser zur Ermittlung der CRF als der 6MWT.

2. Methoden

Die Studie „Stairway to Heaven“, Projekt Nummer 21-0151, wurde von der Ethikkommission bei der LMU München überprüft und am 09.04.2021 als ethisch-rechtlich unbedenklich befunden (siehe Anhang A). Von allen Probanden liegen die Einverständniserklärungen und die Datenschutzerklärungen vor.

2.1 Probanden

Die Probandensuche erfolgte mittels Flyer im Großraum München, durch Verbreitung in Sozialen Medien (E-Mail-Verteiler, Facebook, WhatsApp, Instagram), Aushang in Kliniken (Adipositas Ambulanzen, Schwarzes Brett, Intranet) und im persönlichen Umfeld der Doktorandinnen und Ärztin. Alle Probanden wurden zwischen Mai 2021 und Oktober 2021 untersucht.

Eingeschlossen wurden gesunde Probanden zwischen 18 und 30 Jahren, mit einem BMI ≤ 25 kg/m² oder BMI ≥ 30 kg/m². Als gesund wurden Probanden definiert, die keine relevanten Vorerkrankungen, eine unauffällige körperliche Untersuchung und einen normalen Befund in der Echokardiographie sowie im Ruhe-12-Kanal-Elektrokardiogramm (EKG) aufwiesen.

Ausgeschlossen wurden Probanden, die jünger als 18 oder älter als 30 Jahre waren, einen BMI $< 18,5$ kg/m² oder > 25 kg/m² und < 30 kg/m² hatten, wenn relevante Vorerkrankungen bekannt waren, akute Krankheiten bestanden, eine Schwangerschaft vorlag oder eine regelmäßige Medikamenteneinnahme notwendig war (ausgenommen Kontrazeptiva). Ebenfalls wurden Probanden ausgeschlossen, die eine pathologische Echokardiographie oder ein pathologisches EKG zeigten.

Die Gruppen wurden in Normalgewichtige mit BMI zwischen 18,5 kg/m² und 25 kg/m², Adipöse mit BMI ≥ 30 kg/m² und künstlich Übergewichtige unterteilt. Die künstlich Übergewichtigen ergaben sich aus den Normalgewichtigen, ausgestattet mit einer 25-Kilogramm Gewichtsweste (Monsterverst Gewichtsweste 25 kg, Capital Sports). Die Gewichtsweste war vorne und hinten gleichmäßig mit Zusatzgewicht beladen und besaß zwei Klettverschlussbänder zur Fixierung am Rumpf, um eine übermäßige Bewegung der Weste zu verhindern.

2.2 Besondere Hygienemaßnahmen

Aufgrund der vorherrschenden COVID-19 Pandemie wurden besondere Hygienemaßnahmen getroffen. An den Untersuchungstagen wurde ein Corona Schnelltest (COVID-19 Ag Rapid Test Device, Abbott Rapid Diagnostics Jena GmbH, Deutschland) durchgeführt. Die Probanden und Untersucher trugen eine FFP2-Maske. Bei den Belastungstests, in der Ruhephase vor und zwischen den Durchläufen beim SCT wurde die Maske der Probanden abgenommen.

2.3 Ablauf der Untersuchungen

Die Belastungsuntersuchungen fanden an einem oder zwei Tagen statt. Adipöse Probanden absolvierten jeden Belastungstest einmal, bei den normalgewichtigen Probanden wurde jeder Belastungstest zweimal an unterschiedlichen Terminen durchgeführt. Am ersten Termin erfolgte die Erhebung des Gesundheitsstatus (siehe Anhang B) und die Belastungstests ohne und am zweiten Termin mit 25 Kilogramm Zusatzgewicht. Zuerst wurden Alter, Geburtsjahrgang und Geschlecht dokumentiert, anschließend das Körpergewicht (bis auf 0,1 kg genau mit Sportkleidung und ohne Schuhe) (Personenwaage, KERN MPE, Deutschland), die Körpergröße (auf 0,5 cm genau) (Zollstock), die linke Beinlänge (auf 0,5 cm genau; vom linken Trochanter major zum Malleolus lateralis), der Taillenumfang (auf 0,5 cm genau; schmalster Umfang, Höhe Umbilicus) und der Hüftumfang (auf 0,5 cm genau; auf Höhe des Trochanter major) gemessen. Daraus wurden BMI (siehe Formel 1, eine Dezimalstelle), Körperoberfläche (KOF) (siehe Formel 2, zwei Dezimalstellen) und Waist-Hip-Ratio (WHR) (siehe Formel 3, zwei Dezimalstellen) berechnet.

Formel 1: Body-Mass-Index (67)

$$BMI = \frac{\text{Körpergewicht [kg]}}{\text{Körpergröße[m]}^2}$$

Formel 2: Körperoberfläche (108)

$$KOF = 0,007184 \times \text{Körpergröße [cm]}^{0,725} \times \text{Körpergewicht [kg]}^{0,425}$$

Formel 3: Waist-to-Hip-Ratio

$$WHR = \frac{\text{Taillenumfang[cm]}}{\text{Hüftumfang[cm]}}$$

Nach einer Ruhephase von mindestens fünf Minuten wurden Ruheherzfrequenz, Ruheblutdruck und periphere Sauerstoffsättigung in Ruhe mit dem Connex Spot Monitor (Welch Allyn, USA) im Sitzen erhoben. Außerdem wurde die Ruheatemfrequenz über 15 Sekunden ausgezählt und in Atemzüge pro Minute umgerechnet. Das Anamnesegespräch gab Auskunft über die körperliche Aktivität in Stunden pro Woche, Aktivitäten pro Woche, Art der Aktivitäten und Belastungsarten (Ausdauer/ Kraft), ebenso wurde die berufliche Belastung dokumentiert (Art und sitzend/aktiv). Es wurde nach Atemwegs-, kardiovaskulären, endokrinologischen, nephrologischen, urologischen, gastroenterologischen, neurologischen, psychiatrischen und muskuloskelettalen Erkrankungen gefragt, sowie die regelmäßige Einnahme von Drogen oder Medikamenten erörtert. In der körperlichen Untersuchung wurden Lunge, kardiovaskuläres System und Abdomen untersucht. Im Anschluss wurde ein 12-Kanal-Elektrokardiogramm (KISS Multilead, GE Medical System Information Technologies, USA) in Ruhe im Sitzen aufgezeichnet und eine Echokardiographie (iE33, Diagnostic Ultrasound System, Philips Ultrasound, USA) durchgeführt. Für adipöse Probanden ($\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$) folgte entweder der CPET mittels Laufbandspiroergometrie nach dem Protokoll der Deutschen Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie (DGPK) (109) alternativ wurden alle Belastungstest am selben Tag, in der gleichen Reihenfolge wie bei den Normalgewichtigen durchgeführt. Die Normalgewichtigen starteten mit dem 6-Minuten-Gehtest (6MWT) nach ATS-Protokoll (23), woran sich nach der neue standardisierte Treppensteigttest (SCT) anschloss und der Untersuchungstag nach einer 30 minütigen Pause, mit dem CPET auf dem Laufband nach DGPK Protokoll abgeschlossen wurde.

Am zweiten Untersuchungstag wurden bei den Adipösen die fehlenden einfachen Belastungstests durchgeführt. Es wurde mit dem 6MWT begonnen und im Anschluss der Treppensteigttest durchgeführt. Bei den normalgewichtigen Probanden erfolgen alle Belastungstest mit 25 Kilogramm Gewichtsweste in derselben Reihenfolge wie am ersten Tag. Die veränderten Anthropometrischen Werte (Körpergewicht und BMI) wurden neu bestimmt. Das Zusatzgewicht, sollte die metabolisch inaktive Fettmasse simulieren und so einen besseren Vergleich zwischen den Gruppen ermöglichen.

2.4 Belastungstestprotokolle

Während der Durchführung der verschiedenen Belastungstests trugen die Probanden Sportkleidung und Sportschuhe. Die Belastungstests fanden an verschiedenen Orten im Klinikum Großhadern statt. Das Testequipment wurde von der Versuchsleiterin getragen. Die Ruhephase dauerte individuell bis zur subjektiven Erholung des Probanden und des Erreichens der Ruheherzfrequenz im Sitzen.

2.4.1 6-Minuten Gehstest

Der 6-Minuten Gehstest (6MWT) wurde nach dem Vorschlag des Positionspapiers der Arbeitsgruppe Belastungsuntersuchungen der DGPK (110) durchgeführt (Siehe Anhang D), welches sich an den Richtlinien der American Thorax Society (ATS) (23) orientiert. Nach Empfehlungen der European Respiratory Society und American Thoracic Society (111) kann der Lerneffekt bei einer einmaligen Statureinschätzung vernachlässigt werden.

Vor Beginn des 6MWT wurde der Proband gebeten, sich mindestens fünf Minuten auf einen Stuhl (aus der Ambulanz, ohne Armlehne) nahe dem Startpunkt zu setzen. Währenddessen wurden die Wendemarkierungen (rote Pylonen) in einem Abstand von 30 Metern aufgestellt. Der 6MWT fand in einem wenig frequentierten geraden Klinikgang mit hartem Untergrund statt. Vor dem 6MWT wurden die Vitalparameter (Herzfrequenz, Blutdruck und Sauerstoffsättigung) mit dem Connex Spot Monitor (Welch Allyn, USA) erhoben und die Borg Skala der Erschöpfung (112) sowie die Borg CR Skala der Atemnot (113) abgefragt. Der Proband wurden im Sitzen mit den vorgegebenen Formulierungen instruiert (23, 110). Die Zeit wurde mit einer Stoppuhr gestoppt und die vollendeten Runden wurden mit einem Rundenzähler gemessen. Nach Ablauf der Zeit wurden die Vitalparameter und die Borg Skalen erhoben sowie die zurückgelegte Strecke mithilfe eines Messrades (Measuring Wheel 1000m, RS Pro, UK) bestimmt. Die während des 6MWT zurückgelegte Strecke (engl. Six-minute-walking-distance, 6MWD) wurde mit den vollendeten Runden und der zusätzlich zurückgelegten Strecke berechnet (siehe Formel 4). Als Zielvariablen des 6MWT wurde die 6MWD festgelegt.

Formel 4: 6-Minuten-Gehstrecke (6MWD)

$$6MWD = n \times 60 m + s$$

6MWD [m]; n = Anzahl der vollendeten Runden, s = zusätzlich zurückgelegte Strecke [m]

2.4.2 Treppensteigttest

Das Protokoll des Treppensteigttests (SCT) wurde von der Arbeitsgruppe Belastungsuntersuchungen der Abteilung erstellt (siehe Anhang C). Neben der vorliegenden Arbeit wurde zeitgleich ein weiteres Thema (Beurteilung der körperlichen Belastbarkeit mittels Treppensteigttest im Vergleich zur Spiroergometrie und zum 6 Minuten Gehtest) von cand. med. Melina Uhl im Rahmen einer eigenen, getrennten Promotionsarbeit bearbeitet. Die Untersuchungen wurden zusammen durchgeführt und anschließend getrennt ausgewertet. Die Hauptfragestellung von Frau Uhl war die Korrelation zwischen der Spiroergometrie bzw. dem 6 Minuten Gehtest und dem entwickelten Treppensteigttest bei Normalgewichtigen.

Für die Durchführung des SCT wurde kein spezielles Equipment benötigt, er ist nahezu überall mit wenig Zeitaufwand durchführbar. Es wurde ein Stuhl, eine Stoppuhr, ein Testprotokoll, ein Stift, Instrumente zum Erheben der Vitalparameter und ein wenig frequentiertes Treppenhaus mit mindestens vier Stockwerken benötigt.

Die Probanden stiegen im Rahmen des Tests eine verschiedene Anzahl an Stockwerken in unterschiedlichen Geschwindigkeiten hinauf und hinunter. Vor und nach dem SCT wurde die Erschöpfung anhand der Borg Skala (112) und die Atemnot anhand der Borg CR Skala (113) erfasst. Außerdem wurden vor und nach jedem der sechs Durchläufe die Vitalparameter (Herzfrequenz, Sauerstoffsättigung, Atemfrequenz) und der Blutdruck nach jedem Durchlauf auf einem Stuhl (ohne Armlehne) sitzend bestimmt. Herzfrequenz, Sauerstoffsättigung und Blutdruck wurden mit dem Connex Spot Monitor (Welch Allyn, USA) erfasst. Die Atemfrequenz wurde jeweils 15 Sekunden lang gezählt und anschließend in Atemzüge pro Minute umgerechnet. Zwischen den Durchläufen ruhten sich die Probanden auf einem Stuhl aus, bis die subjektive Erholung eingetreten war und die Herzfrequenz ihren Ruhewert erreicht hatte. Die für den SCT benötigte Zeit (stair-climbing-test time, tSCT) wurde mit einer Stoppuhr gemessen. Die Stoppuhr wurde zusammen mit „Los“ des Startkommandos „Auf die Plätze, fertig, Los“ gestartet und nach Ankunft beider Beine auf der Zielebene gestoppt.

Der SCT fand im Treppenhaus im Hauptgebäude statt. Es wurde jeweils in der Zwischenebene des 5. und 6. Stockwerk begonnen und maximal bis zur Zwischenebene des 9. und 10. Stockwerks gestiegen. Beim Startpunkt und oberen Endpunkt befindet sich eine Tür, dazwischen behindert keine Tür das Treppensteigen. Ein Stockwerk bestand aus zwei Treppenabsätzen mit je 10 Stufen. Die Stufen waren im Mittel 16,5 cm hoch, sodass die Höhe eines

Stockwerk 3,28 m ergab. Zwischen den Absätzen befand sich eine Ebene bzw. Zwischenebene, wobei der nächste Treppenabsatz um jeweils 180° versetzt begann (siehe Abbildung 1).

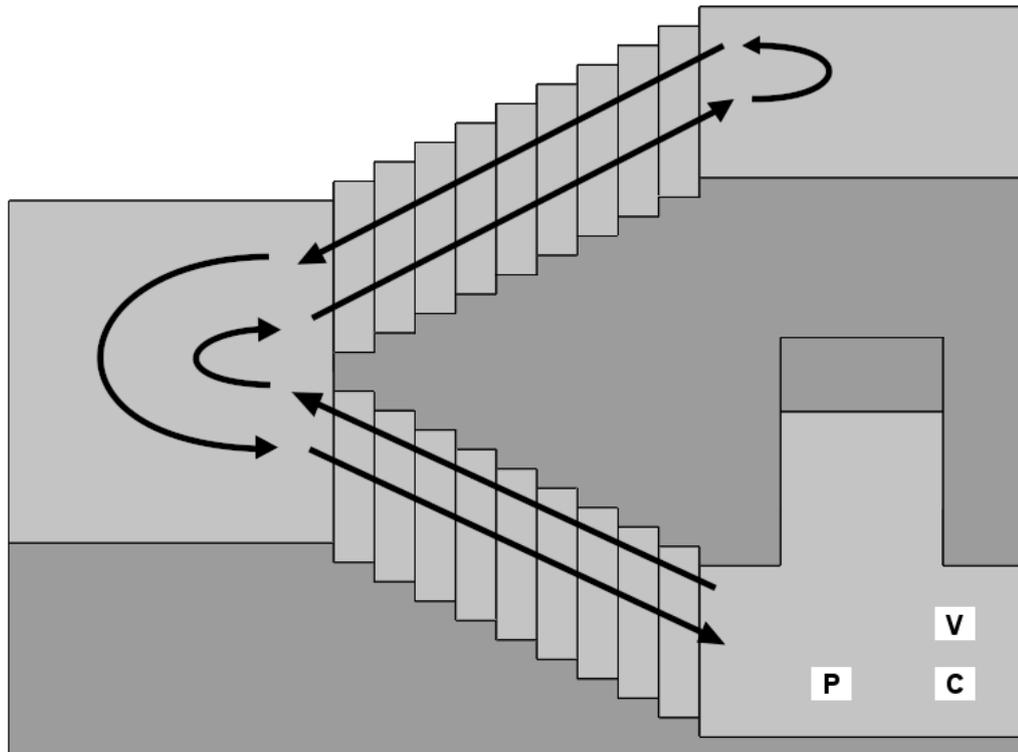


Abbildung 1: Ein Stockwerk des Treppenhauses: P, Proband; C, Connex Spot Monitor; V, Versuchsleiter

Vor Testbeginn wurden die Probanden über den gesamten Testablauf aufgeklärt und vor jedem Durchlauf an den bevorstehenden Modus und die Anzahl der Stockwerke erinnert. Nach jedem Durchlauf setzte sich der Proband wieder auf den Stuhl und gab Bescheid, sobald er sich subjektiv erholt fühlte. Nacheinander wurden je zwei Durchläufe in zwei unterschiedlichen Geschwindigkeitsmodi, normal und so schnell wie möglich, über zuerst ein, dann zwei und anschließend vier Stockwerke hinauf und hinunter durchgeführt. Es ergaben sich die in Tabelle 1 gezeigten sechs Durchläufe. Das Geländer durfte während des SCT nicht verwendet werden und jede Stufe musste einzeln erklommen werden, es durfte keine Stufe übersprungen werden.

Tabelle 1: Ablauf des Treppensteigttest

Durchlauf	Stockwerke (Anzahl)	Stufen (Anzahl)	Modus	Höhe [m]
1	1	20	normal	3,284
2	1	20	schnell	3,284
3	2	40	normal	6,568
4	2	40	schnell	6,586
5	4	80	normal	13,136
6	4	80	schnell	13,136

Mithilfe der gemessenen Zeit (tSCT) in Sekunden wurde ein Treppensteig-Index (SCT-Index) berechnet (siehe Formel 5). Als Zielvariablen des SCT wurden die tSCT und der SCT-Index festgelegt.

Formel 5: Treppensteig-Index (SCT-Index)

$$SCT - Index = \frac{m \times h}{t}$$

SCT-Index [W], m = Körpergewicht [kg], h = Höhe [m], t = tSCT [s]

2.4.3 Kardiopulmonaler Belastungstest

Der CPET wurde nach dem Beschluss der DGPK-Vorstandssitzung (114) nach dem Stufenprotokoll der DGPK nach Dubowy et al. (109, 114)) auf dem Laufband (h/p/cosmos sports & medical gmbh, Deutschland) durchgeführt.

Während der Belastungsuntersuchung wurde, kontinuierlich ein 12-Kanal-Elektrokardiogramm (KISS Multilead, GE Medical System Information Technologies, USA), Pulsoxymetrie und Atemvariablen (vyntus CPX, CareFusion German 234 GmbH, Deutschland) aufgezeichnet. Der Blutdruck wurde intermittierend bei jeder Stufe gemessen, sofern der Proband dies während der Belastung tolerierte. Aus den Atemvariablen wurden mittels Breath-by-Breath Methode, gemittelt über 8 Atemzüge, Atemfrequenz, Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme und Kohlenstoffdioxidabgabe bestimmt. Aus den gemessenen Werten lassen sich die ventilatorischen Schwellen (aerobe Schwelle (VT1) und anaerobe Schwelle (VT2)), Respiratorische Quotient (RQ) und VO_{2max} bestimmen. Für den Vergleich mit den einfachen Belastungstests wird VO_{2max} als Zielvariable festgelegt.

Beim CPET wurde eine örtliche Modifikation vorgenommen, da diese in der Kinderkardiologischen Ambulanz üblich waren. Es wurde eine niedrigere Vorbelastungsphase mit 0,8 km/h ohne Steigung mit einer Dauer von 90 Sekunden durchgeführt. Hierbei handelt es sich um eine Kompromisslösung zwischen der DGPK Vorgabe mit 0 km/h (114) und der Vorgabe von Dubowy mit 2 km/h (109). Die Ausbelastung wurde durch ein Stufenprotokoll mit einer Stufendauer von 90 Sekunden erreicht. Die 1. Stufe startete mit einer Geschwindigkeit von 2,5 km/h und 0% Steigung. Alle 90 Sekunden wurde die Geschwindigkeit um 0,5 km/h und die Steigung um 3% erhöht (siehe Tabelle 2), bis die Erschöpfung eintrat. Erreichte die Steigung eine Höhe von 18%, wurde nur noch die Geschwindigkeit pro Stufe um 0,5 km/h erhöht, die Steigung verblieb bei 18%. Die maximale Steigung wich aufgrund technischer Gegebenheiten von den vorgeschlagenen 21% ab. Sobald der Proband angab, seine Belastungsgrenze erreicht zu haben wurde das Belastungsprotokoll gestoppt und in die Nachbelastungsphase eingeleitet. Diese dauerte ebenfalls 90 s bei einer Laufbandgeschwindigkeit von 2,5 km/h. Anschließend wurde das Laufband gestoppt und die Überwachung in der Erholungsphase bis zur Stabilisierung der Herzfrequenz oder fünf Minuten fortgeführt.

Tabelle 2: Laufband-Protokoll nach DGPK (109)

Phase	Geschwindigkeit [km/h]	Steigung [%]	Dauer [s]
Ruhephase	0	0	90
Vorbelastung	0,8	0	90
Stufe 1	2,5	0	90
Stufe 2	3,0	3	90
Stufe 3	3,5	6	90
Stufe 4	4,0	9	90
Stufe 5	4,5	12	90
Stufe 6	5,0	15	90
Stufe 7	5,5	18	90
Stufe 8	6,0	18	90
...
Nachbelastung	2,5	0	90
Erholung	0	0	90 - 300

Die maximale Belastung wurde als das Erreichen von mindesten zwei der vier Ausbelastungskriterien definiert (3):

1. ein Respiratorischer Quotient von über 1,15
2. Subjektive Ausbelastung (Borg \geq 17)
3. Maximale Herzfrequenz \geq 90% der altersensprechenenden Sollwerte
4. VO_{2max} SOLL $>$ 84 %

Formel 6: maximale Herzfrequenz (115)

$$HF(\max) = 220 - \text{Alter } (a)$$

Wenn die Probanden die Ausbelastungskriterien erreicht hatten, wurde die VO_{2max} ermittelt.

2.5 Statistische Auswertung

Für die statistische Analyse wurde das Programm SPSS 28.0.1.1 verwendet. Es wurde eine deskriptive Analyse durchgeführt. Hierdurch wurden Mittelwerte, Standardabweichungen, sowie Minimum und Maximum ermittelt. Darüber hinaus wurden die Daten auf Normalverteilung geprüft. Um den Einfluss des Gewichts auf die Belastungstests zu eruieren, wurden die Gruppen mittels unverbundenem und verbundenem Mann-Whitney-U-Test verglichen und die Korrelation der Zielvariablen mit dem Gewicht erfasst. Anschließend wurde die Korrelation der Zielvariablen der einfachen Belastungstests (6MWD, tSCT und SCT-Index) zur maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) bei den Adipösen und künstlich Übergewichtigen betrachtet, eine einfache lineare Regressionsanalyse durchgeführt und die einfachen Belastungstests anhand der Regressionskoeffizienten bewertet. Hier wurde die Einteilung nach Evans (116) gewählt; sehr schwach bezeichnete eine Korrelation mit einem Koeffizienten von $< 0,20$, schwach $< 0,40$, moderat $< 0,60$, stark $< 0,80$ und sehr stark $\geq 0,80$. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Analyse

Insgesamt wurden 59 Probanden untersucht, die in Tabelle 3 dargestellt wurden. Unter den Probanden waren 31 Normalgewichtige, wovon 17 männlich und 14 weiblich waren. Der mittlere BMI lag bei 21,7 kg/m², das mittlere Alter bei 22,5 Jahren. Bei der Gruppe der künstlich Übergewichtigen (Gruppe der Normalgewichtigen mit Zusatzgewicht) wurde der mittlere BMI durch die Gewichtsweste auf 30,1 kg/m² artifiziell erhöht. In der Gruppe der Adipösen wurden 28 Probanden untersucht, wovon 13 männlich und 15 weiblich waren. Der mittlere BMI betrug in dieser Gruppe 34,2 kg/m² und das mittlere Alter lag bei 26,0 Jahren.

Die Prüfung auf Normalverteilung ergab, dass Variablen wie z.B. BMI, Stunden Sport pro Woche, Gewicht, 6MWD und SCT-Index nicht Normalverteilt waren, weshalb der Mann-Whitney-U-Test verwendet wurde.

Die Normalgewichtigen und Adipösen unterscheiden sich signifikant in Alter, BMI, Gewicht, Hüftumfang, Taillenumfang und Sportlichkeit. Es besteht kein signifikanter Unterschied in der Körpergröße der beiden Gruppen (siehe Tabelle 3). Alle Gruppen unterscheiden sich signifikant im Gewicht und BMI (siehe Abbildung 2)

Tabelle 3: Deskriptive Statistik der Gruppen

	Gruppe		p-Wert*
	Normalgewichtig	Adipös	
Anzahl	31 (17 männlich)	28 (13 männlich)	
Alter [a]	22,5 (\pm 2,64) (18 - 29)	26,0 (\pm 3,08) (21 - 30)	< 0,001
BMI [kg/m ²]	21,67 (\pm 1,73) (18,8 - 25,0)	34,25 (\pm 4,06) (30,1 - 44,9)	< 0,001
BMI + 25 kg** [kg/m ²]	30,07 (\pm 2,06) (27,1 - 34,3)		< 0,001
Körpergröße [m]	1,727 (\pm 0,102) (1,52 - 1,98)	1,747 (\pm 0,102) (1,60 - 1,95)	0,548
Gewicht [kg]	64,88 (\pm 9,49) (48,4 - 85,5)	105,16 (\pm 19,43) (80,9 - 148,8)	< 0,001
Gewicht + 25 kg** [kg]	89,67 (\pm 9,60) (74,0 - 104,5)		< 0,001
Hüftumfang [cm]	92,3 (\pm 7,05) (72,0 - 104,5)	118,7 (\pm 10,02) (97,0 - 140,0)	< 0,001
Taillienumfang [cm]	72,5 (\pm 5,69) (63,0 - 85,0)	101,2 (\pm 13,30) (84,0 - 138,5)	< 0,001
Waist-to-Hip- Ratio	0,788 (\pm 0,0639) (0,69 – 0,96)	0,853 (\pm 0,0901) (0,72 – 1,13)	0,003
Stunden Sport pro Woche [h]	5,7 (\pm 4,17) (0 - 18,0)	2,2 (\pm 2,18) (0 - 7,5)	< 0,001

Mittelwert (\pm Standardabweichung)

(Minimum – Maximum)

*Signifikanzniveau des Gruppenvergleichs

**künstlich Übergewichtig und Signifikanzniveau im Vergleich mit Adipösen

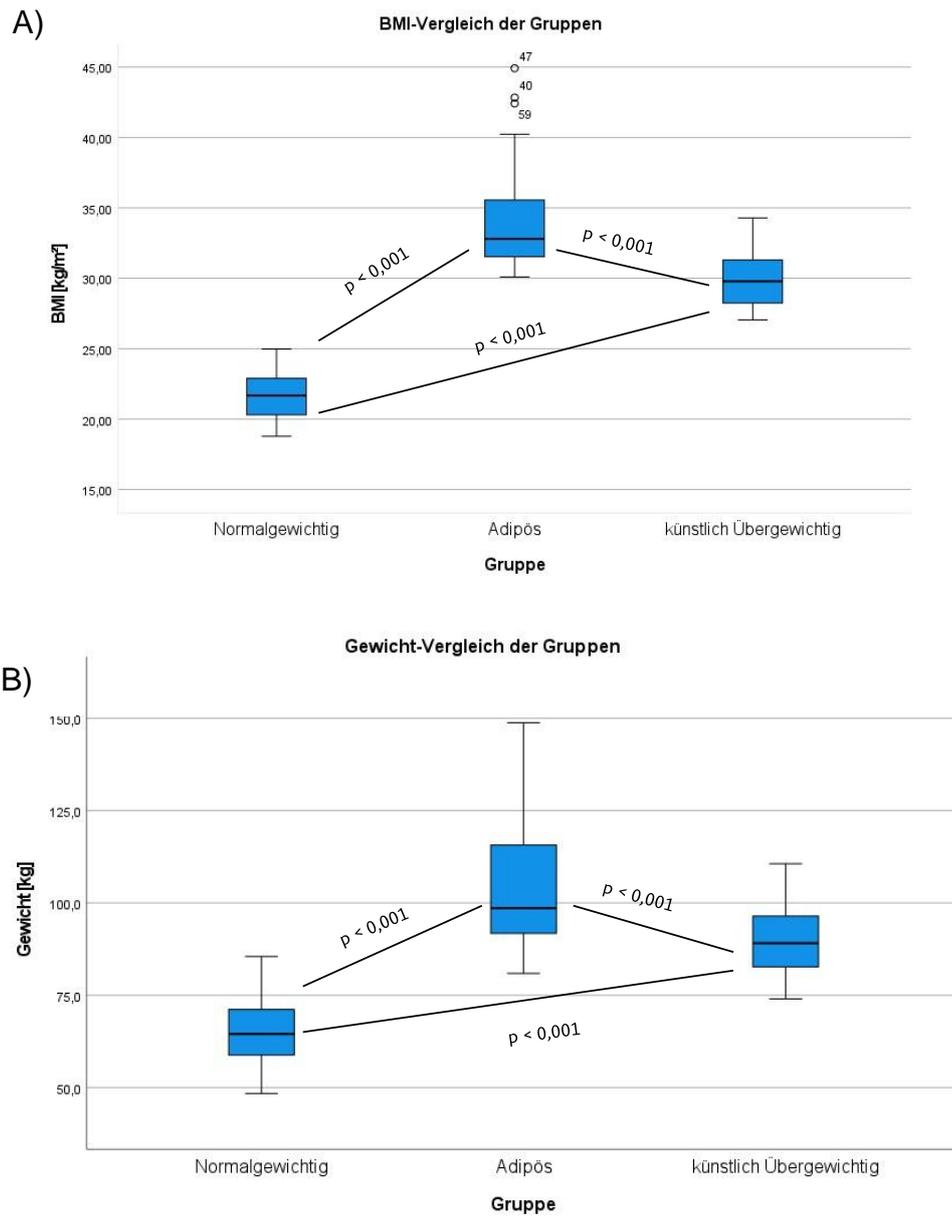


Abbildung 2: Vergleich von Gewicht (A) und BMI (B) zwischen den Gruppen

Die Ergebnisse der Belastungstests sind in Tabelle 4 dargestellt. In der Gruppe der Normalgewichtigen (Gruppe A), Adipösen (Gruppe B) und künstlich Übergewichtigen (Gruppe C) wurde eine 6MWD von A: 724,3 m, B: 613,0 m und C: 650,2 m ermittelt. Für die Mittelwerte des SCT im Durchlauf 6 wurde eine tSCT von A: 51,6 s, B: 63,8 s und C: 64,8 s gemessen und der SCT-Index von A: 16,7 W, B: 22,0 W und C: 18,6 W berechnet. Die mittlere VO_{2max} für die verschiedenen Gruppen ergab A: 3,3 l/min, B: 3,4 l/min und C: 3,1 l/min. VO_{2max}/KG ergaben A: 51,4 ml/min für Normalgewichtige, B: 32,7 ml/min/kg für Adipöse und C: 33,8 ml/min/kg für künstlich Übergewichtige.

Tabelle 4: Ergebnisse der Belastungstests

Ergebnisse der Belastungstests			
	Normalgewichtig	Adipös	Künstlich Übergewichtig
6MWD [m]	724,3 ($\pm 60,9$) (600 - 921)	613,0 ($\pm 55,1$) (520,2 - 723,5)	650,2 ($\pm 82,4$) (541,5 - 842,4)
tSCT [s]	51,6 ($\pm 5,1$) (41,9 - 61,3)	63,8 ($\pm 9,3$) (49,9 - 84,3)	64,8 ($\pm 9,3$) (49,1 - 82,5)
SCT-Index [W]	16,7 ($\pm 3,3$) (11,75 - 25,53)	22,0 ($\pm 4,9$) (15,8 - 38,8)	18,6 ($\pm 4,0$) (12,9 - 27,5)
VO_{2max} [l/min]	3,3 ($\pm 0,8$) (2,0 - 5,4)	3,4 ($\pm 0,8$) (2,33 - 5,30)	3,1 ($\pm 0,7$) (1,93 - 4,38)
VO_{2max} [ml/min/kg]	51,4 ($\pm 9,5$) (35,3 - 75,2)	32,7 ($\pm 6,4$) (23,9 - 53,7)	33,8 ($\pm 5,5$) (24,1 - 46,6)

Mittelwert (\pm Standardabweichung)
(Minimum – Maximum)

3.2 Abhängigkeit der Belastungstest-Parameter vom Gewicht

Um die Gewichtsabhängigkeit der Belastungstests zu untersuchen wurden die Ergebnisse der verschiedenen Gruppen verglichen. Außerdem werden die Zielvariablen auf eine Korrelation mit dem Gewicht untersucht.

3.2.1 Angegebene Sportlichkeit der Probanden

Die Untersuchung der Sportlichkeit der Probanden in Abhängigkeit vom Gewicht (siehe Abbildung 3) ergab eine schwache signifikante Korrelation ($r = 0,303$, $p = 0,020$).

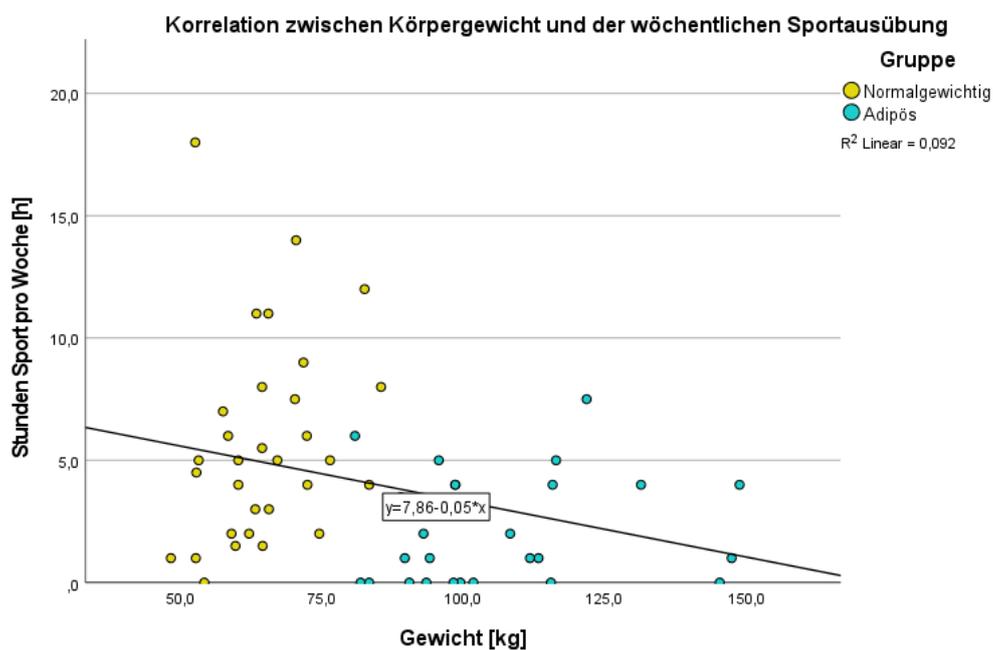


Abbildung 3: Korrelation der wöchentlichen Sportausübung und dem Körpergewicht

3.2.2 Gewichtsabhängigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme

Die Untersuchung des Gewichtseinfluss auf den CPET zeigte eine signifikante Korrelation ($p \leq 0,001$) mit $r = 0,360$ und $r = 0,554$ zu der VO_{2max} und der VO_{2max}/KG (Abbildung 4).

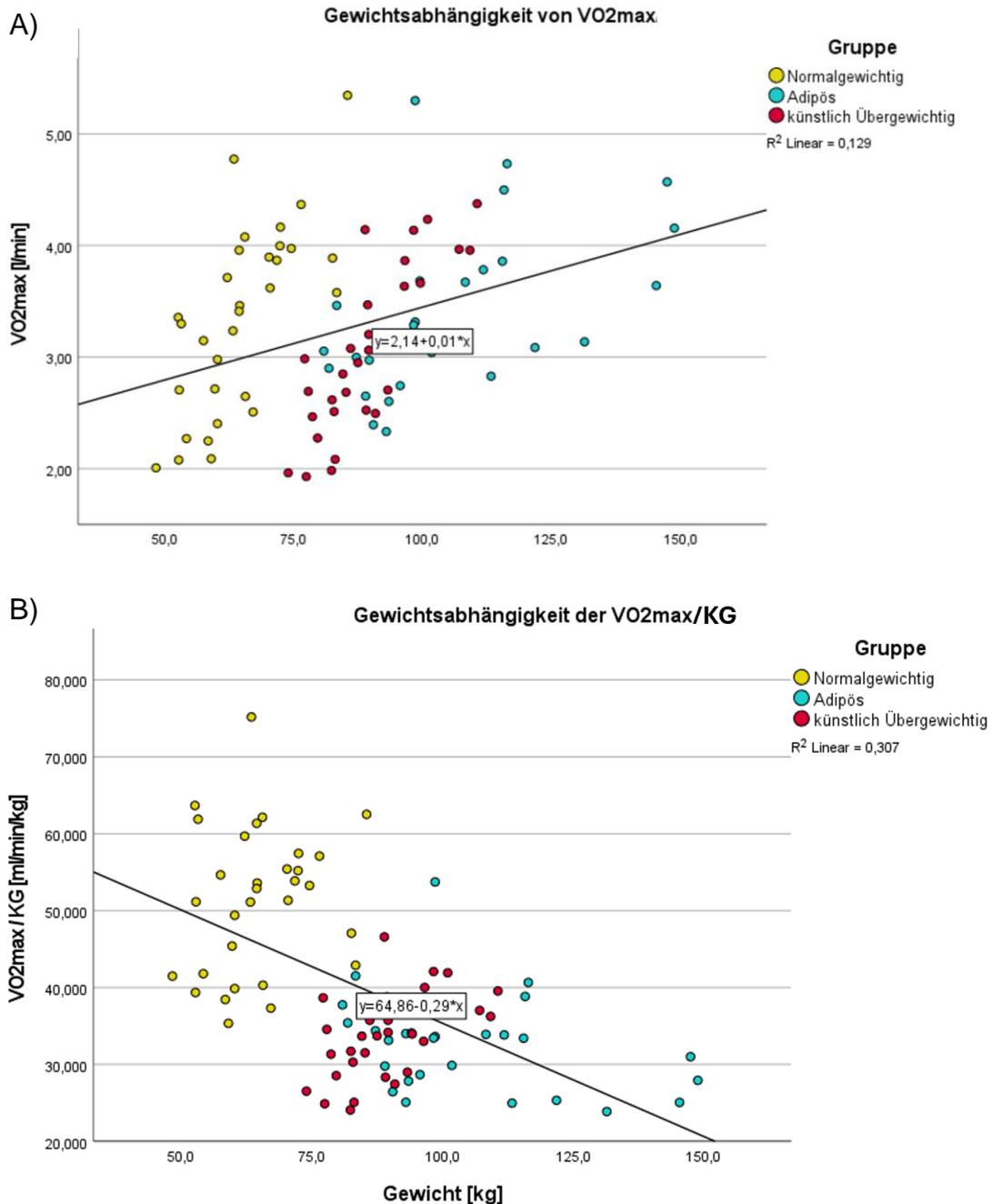


Abbildung 4: Korrelation zwischen VO_{2max} (A) / VO_{2max}/KG (B) und Körpergewicht

Der Vergleich der Gruppen (siehe Abbildung 5A) ergab, dass Adipöse gegenüber Normalgewichtigen und künstlich Übergewichtigen keine signifikant unterschiedlichen Ergebnisse hinsichtlich der VO_{2max} erreichten. Vergleicht man die Normalgewichtigen mit den künstlich Übergewichtigen, zeigt sich, dass die Normalgewichtigen um 6 % signifikant höhere Werte in der VO_{2max} erreichten.

Bezieht man den Vergleich auf VO_{2max}/KG (siehe Abbildung 5B), zeigen die Normalgewichtigen im Vergleich zu den künstlich Übergewichtigen um 34 % und im Vergleich zu den Adipösen um 36 % signifikant höhere Werte bei , wobei sich die Werte zwischen den Adipösen und künstlich Übergewichtigen nicht signifikant unterscheiden.

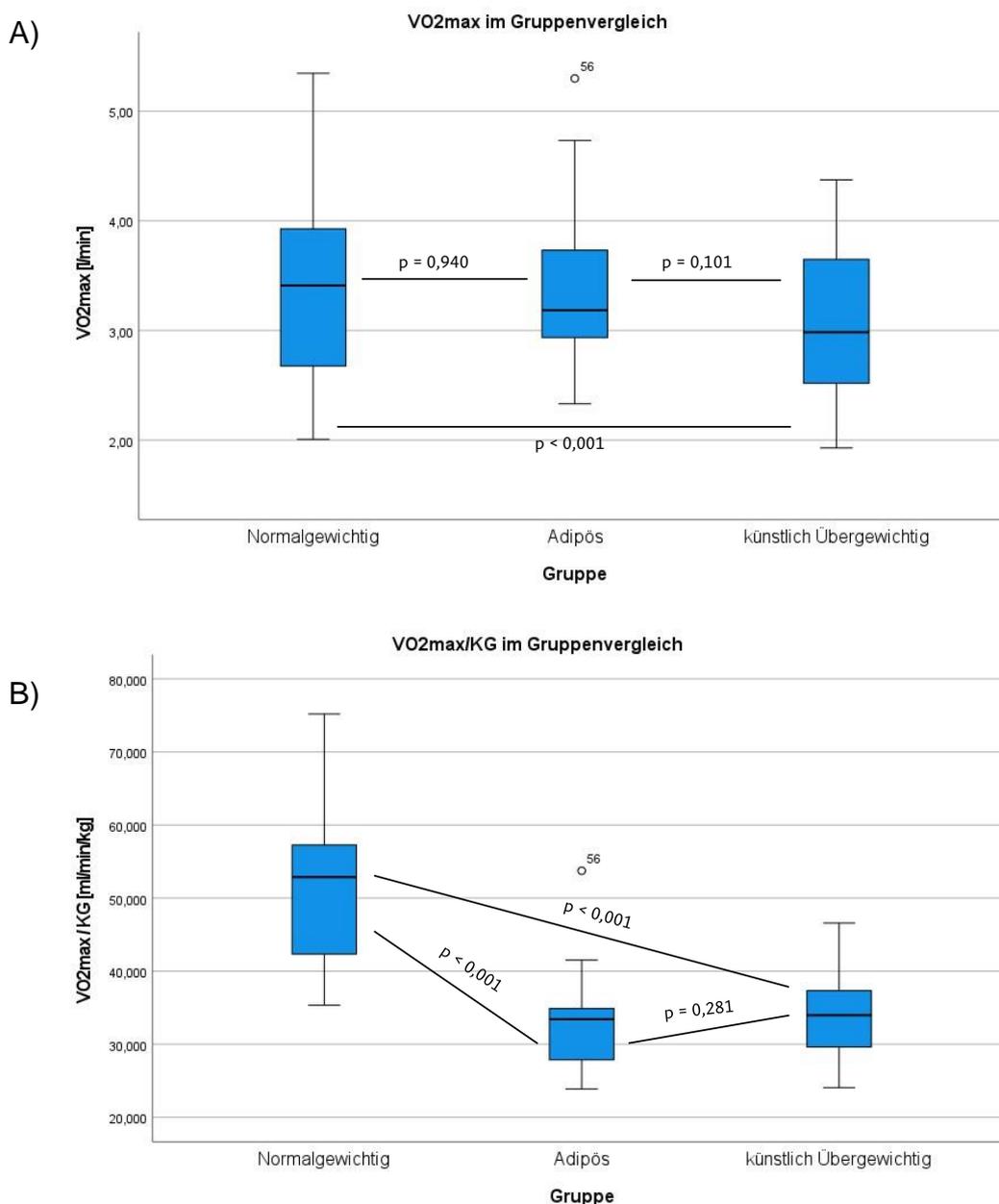


Abbildung 5: Vergleich der VO_{2max} (A) und VO_{2max}/KG (B) zwischen den Gruppen

3.2.3 Gewichtsabhängigkeit des 6-Minuten-Gehtests

Die Untersuchung des Gewichtseinfluss auf den 6MWT zeigte eine signifikante Korrelation ($p = 0,022$) der 6MWD mit $r = 0,241$ (Abbildung 6).

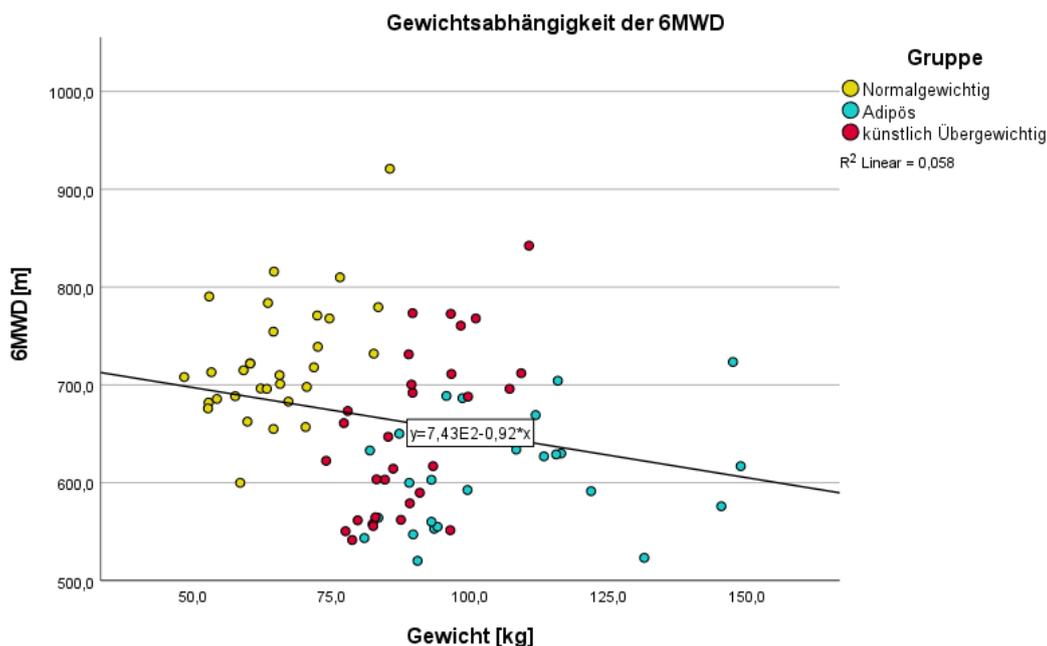


Abbildung 6: Korrelation zwischen 6MWD und Körpergewicht

Vergleicht man die Gruppen (siehe Abbildung 7) zeigt sich eine signifikant höhere 6MWD bei den Normalgewichtigen im Vergleich zu den anderen Gruppen (A: 15%, kÜ: 10%), wobei die Ergebnisse der Adipösen und künstlich Übergewichtigen nicht signifikant unterschiedlich sind.

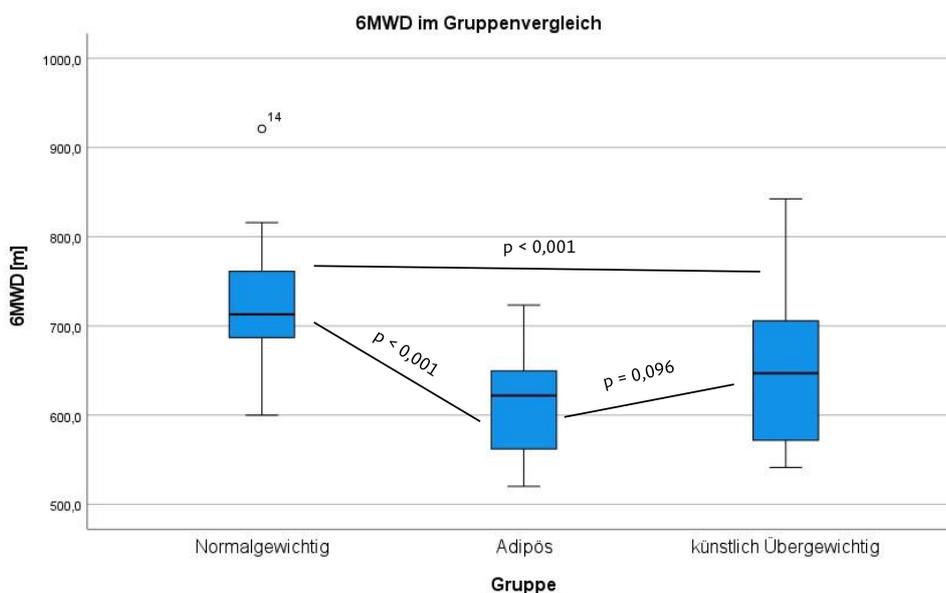


Abbildung 7: Vergleich der 6MWD zwischen den Gruppen

3.2.4 Gewichtsabhängigkeit des Treppensteigtests

Betrachtet man den Gewichtseinfluss auf den SCT ergibt sich eine signifikante Korrelation ($p < 0,001$) mit $r = 0,412$ und $r = 0,764$ für die tSCT und den SCT-Index (Abbildung 8).

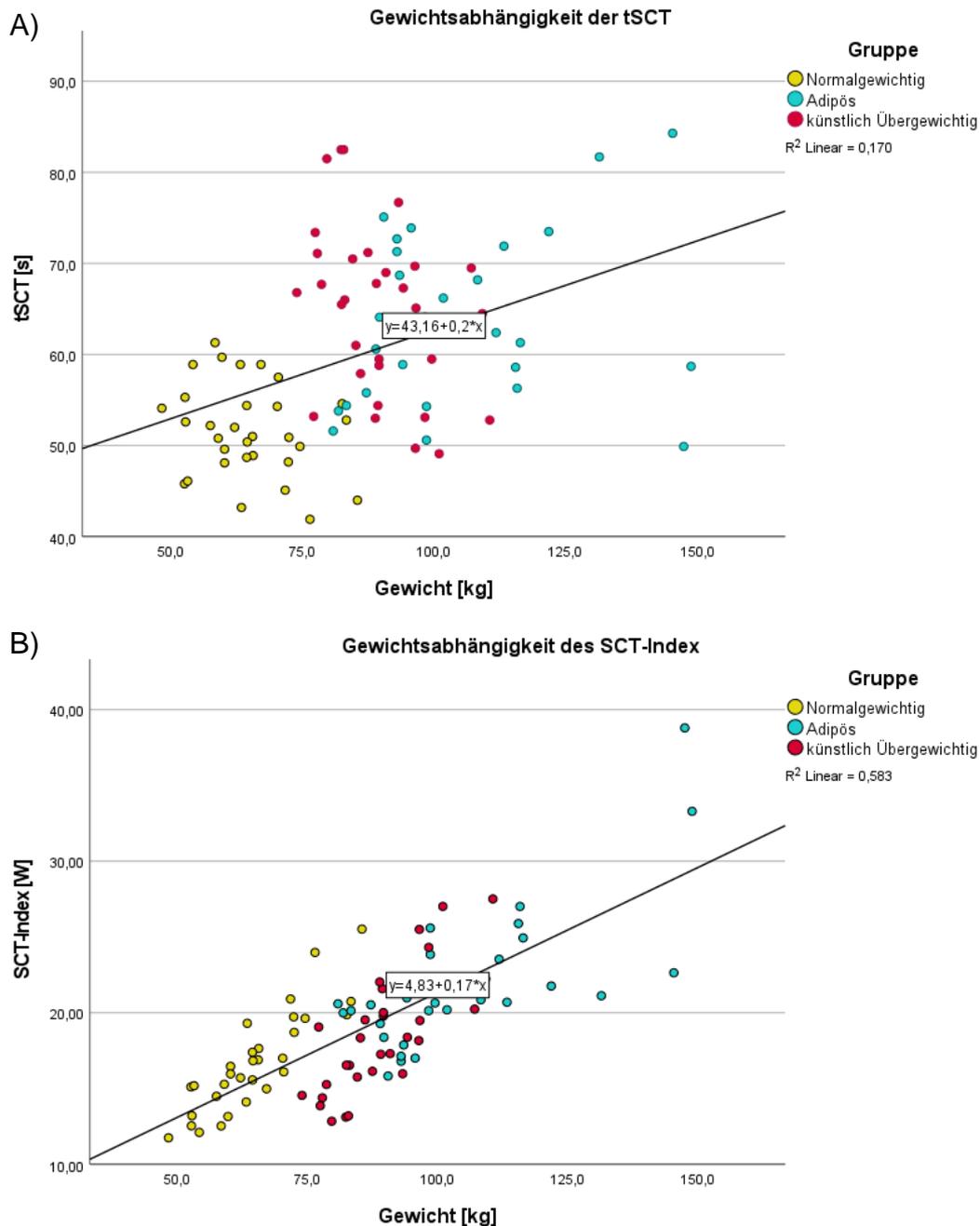
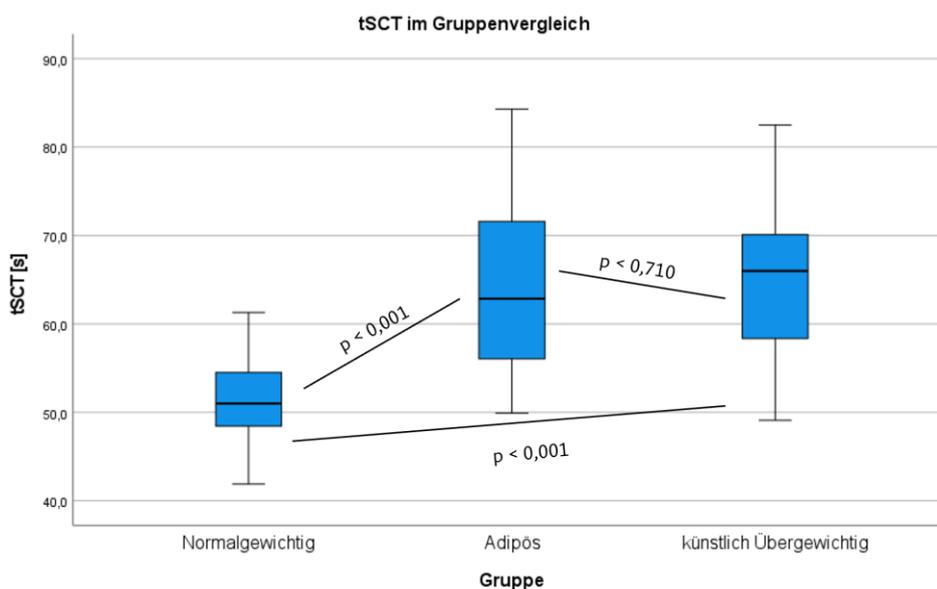


Abbildung 8: Korrelation zwischen tSCT (A) / SCT-Index (B) und Körpergewicht

Bei den Normalgewichtigen ergeben sich signifikant geringere Werte in der tSCT (A: 24 %, kÜ: 26%), wohingegen kein signifikanter Unterschied zwischen den Adipösen und künstlich Übergewichtigen in der tSCT zu erheben war (siehe Abbildung 9A). Der SCT-Index, als Korrelat für die erbrachte Leistung, erreicht signifikant höhere Werte bei Adipösen im Vergleich zu Normalgewichtigen (32%) und künstlich Übergewichtigen (18%). Künstlich Übergewichtige erreichen ebenfalls signifikant höhere Werte (11%) im SCT-Index im Vergleich zu Normalgewichtigen (siehe Abbildung 9B).

A)



B)

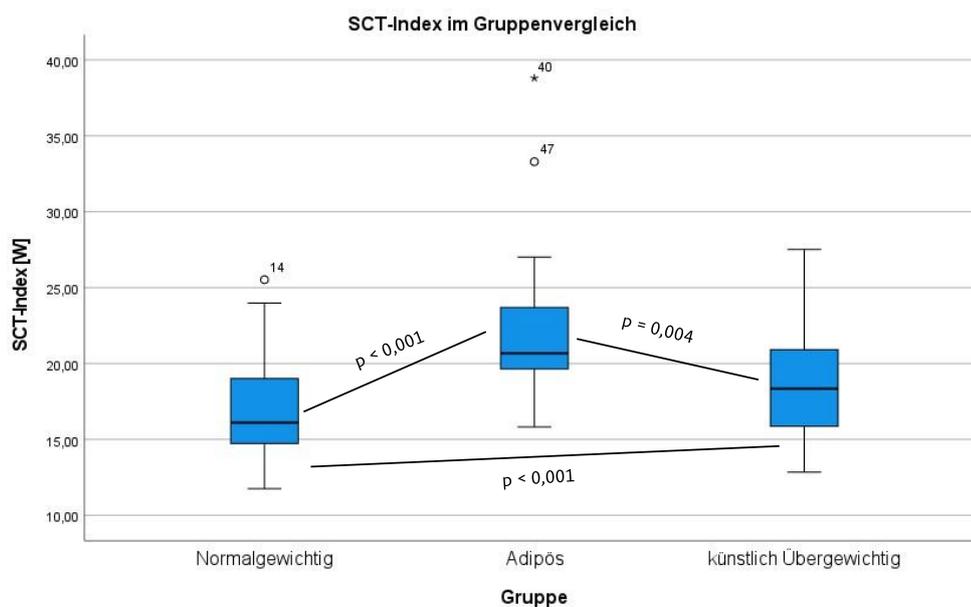


Abbildung 9: Vergleich der tSCT (A) und des SCT-Index (B) zwischen den Gruppen

3.3 Korrelation zur maximalen Sauerstoffaufnahme bei erhöhtem Gewicht

Es wurden lineare Regressionsanalysen gemeinsam für die Adipösen und künstlich Übergewichtigen durchgeführt. Sowohl der SCT als auch der 6MWT zeigen signifikante Korrelationen mit dem CPET. Für die Korrelationen wurden r -Werte, R^2 , Regressionskoeffizient und Signifikanzniveaus angegeben (siehe Tabelle 5). Die beste Korrelation konnte zwischen SCT-Index und VO_{2max} mit $r = 0,822$ gezeigt werden. Mithilfe der vorliegenden Daten kann ein vorläufiger Umrechnungsfaktor zwischen SCT-Index und VO_{2max} für Adipöse und künstlich Übergewichtige erzeugt werden (siehe Formel 1).

Tabelle 5: Korrelationen der einfachen Belastungstests mit CPET

		r	R^2	Regressionskoeffizient	p-Wert
VO ₂ max [l/min]	6MWD [m]	0,582	0,338	0,006	< 0,001
	tSCT [s]	0,572	0,327	- 0,05	< 0,001
	SCT-Index [W]	0,822	0,676	0,13	< 0,001
Vo ₂ max/KG [ml/min/kg]	6MWD [m]	0,541	0,292	0,04	< 0,001
	tSCT [s]	0,711	0,505	- 0,46	< 0,001
	SCT-Index [W]	0,374	0,140	0,47	0,003

r: Regressionskoeffizient; R^2 : Bestimmtheitsmaß; Beta: Standardisierter Koeffizient; p-Wert: Signifikanzniveau

Formel 7: Umrechnungsformel SCT-Index

$$VO_2 \max = 0,62 + 0,13 \times SCT_{index}$$

3.3.1 Korrelation des 6-Minuten-Gehtest mit der maximalen Sauerstoffaufnahme (Goldstandard)

Die 6MWD zeigt eine signifikante Korrelation mit der VO_{2max} ($p < 0,001$, $r = 0,582$) und mit der VO_{2max}/KG ($p < 0,001$, $r = 0,541$).

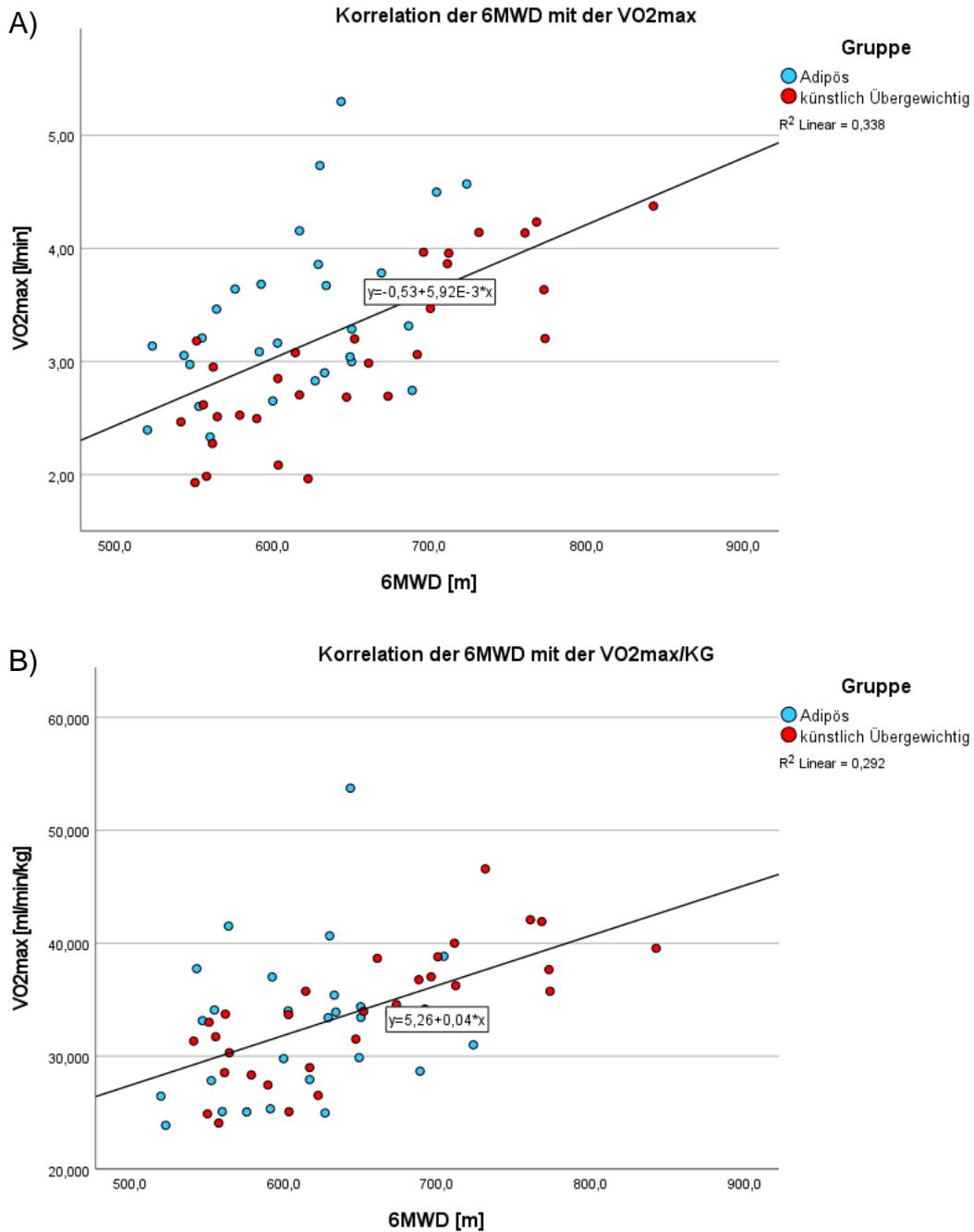


Abbildung 10: Korrelation der 6MWD mit der VO_{2max} (A) und VO_{2max}/KG (B)

3.3.2 Korrelation des Treppensteigtests mit der maximalen Sauerstoffaufnahme (Goldstandard)

Die tSCT zeigt eine signifikante Korrelation mit der VO_{2max} in der Gruppe ($p < 0,001$, $r = 0,572$) und der VO_{2max}/KG in der Gruppe ($p < 0,001$, $r = 0,711$).

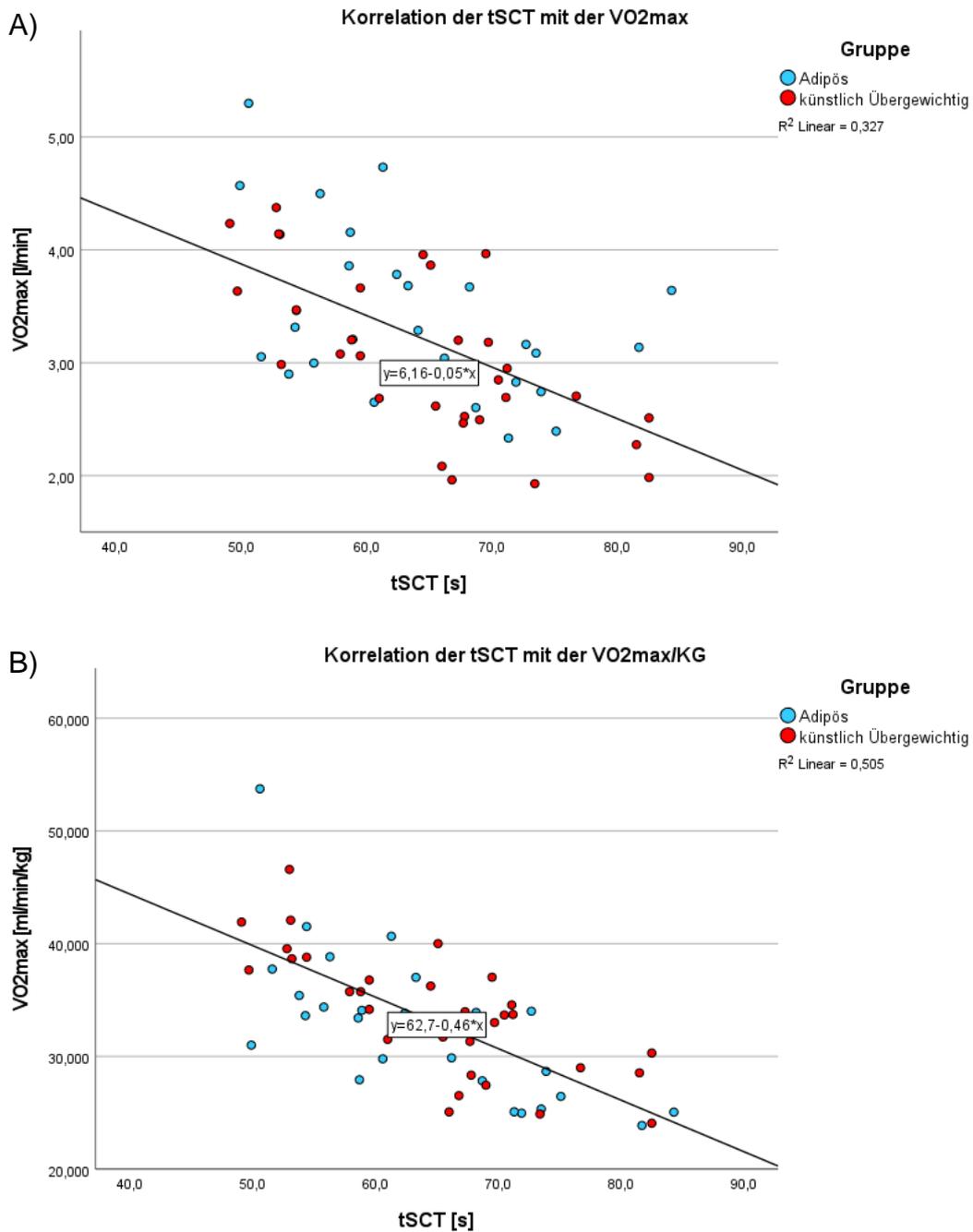


Abbildung 11: Korrelation der tSCT mit der VO_{2max} (A) und VO_{2max}/KG (B)

Der SCT-Index zeigt eine signifikante Korrelation mit der VO_{2max} in der Gruppe ($p < 0,001$, $r = 0,822$) und der mit VO_{2max}/KG in der Gruppe ($p = 0,003$, $r = 0,374$).

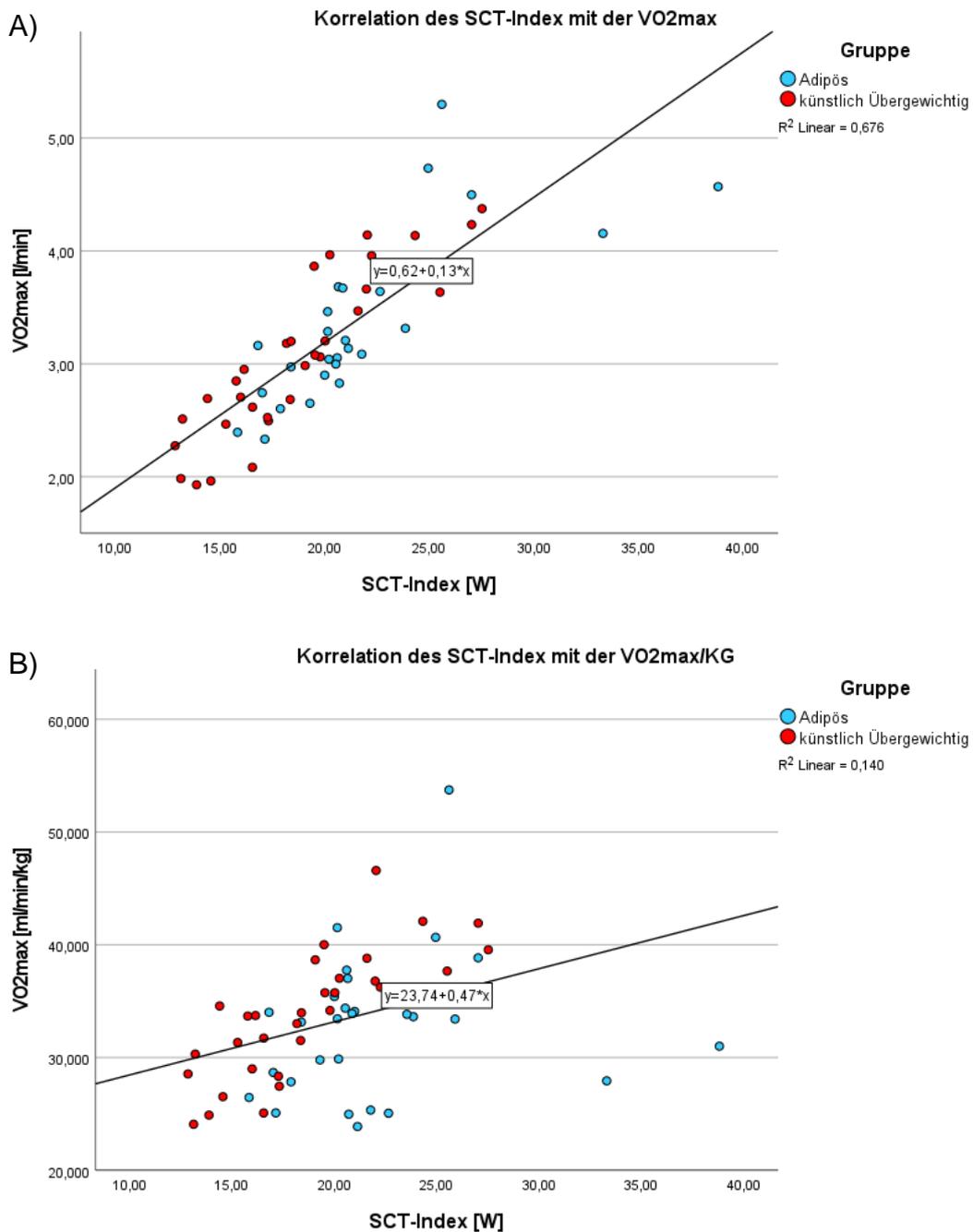


Abbildung 12: Korrelation des SCT-Index mit der VO_{2max} (A) und VO_{2max}/KG (B)

4. Diskussion

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine prospektive nicht randomisierte Fall-Kontroll-Studie mit dem Ziel, den Gewichtseinfluss auf einen Belastungstest im Vergleich zu einer gesunden normalgewichtigen Vergleichsgruppe zu untersuchen. Hierfür wurden 59 gesunde Probanden aus dem Großraum München zwischen 18 und 30 Jahren, unterteilt in Normalgewichtig und Adipös, mithilfe von verschiedenen Belastungstests untersucht. Um bei gleicher CRF den Einfluss des Gewichts besser analysieren zu können, absolvierten die normalgewichtigen Probanden die Belastungstests ein zweites Mal mit einer 25-kg-Gewichtsweste und simulierten somit Übergewicht. In allen untersuchten Belastungstests zeigt sich ein signifikanter Einfluss des Gewichts. Darüber hinaus korrelieren die einfachen Belastungstests bei Adipösen und künstlich Übergewichtigen mit dem CPET.

4.1 Diskussion der Methoden

4.1.1 Probanden

Alle eingeschlossenen Probanden erfüllten die festgelegten Einschlusskriterien und stimmten nach ausführlicher Aufklärung der Teilnahme zu. Die Probanden erhielten neben einer detaillierten Anamnese und körperlichen Untersuchung, eine ausführliche kardiologische Untersuchung, welche eine Echokardiographie und ein Elektrokardiogramm beinhaltet. Hiermit wurde eine zugrunde liegende relevante Vorerkrankung kardialer Genese ausgeschlossen.

Um die Gruppen einzuteilen, wurde die Definition der WHO für Adipositas mit einem BMI ≥ 30 kg/m² verwendet (67). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der BMI keine Auskunft über die tatsächliche Körperzusammensetzung gibt, d.h. wie viel Muskel, Fett oder Knochenmasse zu Grunde liegen. Außerdem ändert sich die Körperzusammensetzung mit dem Alter oder der Zeitdauer einer erhöhten Fettmasse (117). Da der BMI jedoch einfach und überall zu erheben ist, wurde er auch in der vorliegenden Studie als Vergleichsparameter erfasst. Um die Fettleibigkeit nicht allein am BMI festzusetzen wurde ein weiterer Parameter, der Taillenumfang, erhoben. Aufgrund des signifikant höheren Taillenumfangs der Adipösen mit 101,2 cm ($p = 0,001$) und der signifikant höheren Waist-to-Hip-Ratio mit 0,853 ($p = 0,003$) im Vergleich zu dem Taillenumfang und der Waist-to-Hip-Ratio der Normalgewichtigen in der untersuchten Probandengruppe ist von einer tatsächlichen Fettleibigkeit bei einem BMI ≥ 30 kg/m² auszugehen. Der erhöhte BMI ist in dieser Studie nicht auf die Zunahme der Muskelmasse zurückzuführen.

4.1.2 Auswertung der Studie

Um die Ergebnisse der Studie besser beurteilen zu können, werden im Folgenden die Auswertungen diskutiert.

Die Gruppe der Normalgewichtigen und Adipösen unterschieden sich in Alter, Gewicht, BMI, Taillen-, Hüftumfang und Sportlichkeit. Die Gruppe der künstlich Übergewichtigen erreichten trotz Zusatzgewicht nicht den mittleren BMI von der Adipösen. Somit haben die künstlich Übergewichtigen den Vorteil, dass sie leichter und sportlicher sind, jedoch sind diese das zusätzliche Gewicht nicht gewohnt. In vorangegangenen Studien wurde die Sportlichkeit der Probanden entweder nicht angegeben (89, 118) oder war ebenso wie bei unserer Studie bei den Adipösen geringer (92). Da kein Trainingseffekt mit dem Mehrgewicht bestand, konnte der alleinige Einfluss des Gewichts, durch die mit der Gewichtsweste simuliert erhöhten Fettmasse beurteilt werden. Eine besondere Stärke der vorliegenden Studie ist daher der Vergleich der Normalgewichtigen mit und ohne Gewichtsweste in allen drei Belastungstests. Da es sich um dieselben Personen mit derselben CRF handelt, kann der netto Einfluss einer erhöhten inerten Masse auf die Ergebnisse der Belastungstest detailliert analysiert werden. Die von uns gewählte Fallzahl mit 59 Probanden ist als akkurat zu werten, da der Einfluss von Mehrgewicht auf den CPET und Varianten des SCT in vorangegangenen Studien meist mit einer kleinen Fallzahl von 8 - 22 Probanden und einem einzelnen Belastungstest untersucht wurde (101, 106, 119, 120). Lediglich Phillips et al. (121) führten Untersuchungen mit Zusatzgewicht bei einer größeren Probandenzahl (50 junge Männer), jedoch nur für die Laufband-Spiroergometrie durch. Auch der Vergleich zwischen Adipösen und künstlich Übergewichtigen, ist trotz Einschränkungen von enormer klinischer Bedeutung. Die hierzu vorhandenen Arbeiten sind besonders spärlich und aufgrund der divergenten Definition von Adipositas in den einzelnen Studien nicht miteinander vergleichbar (101). Die vorliegende Studie liefert mit den Vergleichen der einzelnen Gruppen neue Erkenntnisse zum Gewichtseinfluss bei Belastungstests.

Der Effekt des künstlichen Zusatzgewichts konnte in den Belastungstests mit den Ergebnissen der Adipösen vergleichbar abgebildet werden. Hieraus lässt sich ableiten, dass die Simulation des Zusatzgewichts bei Normalgewichtigen mit Gewichtsweste als Modell für Belastungsuntersuchungen bei Adipösen herangezogen werden kann. Aus diesem Grund werteten wir in der vorliegenden Studie die Ergebnisse bei Adipösen und künstlich Übergewichtigen als Gesamtgruppe aus.

Ein Vergleich der CRF Messung mit dem 6MWT und SCT wurde bisher nur bei Patienten ohne Angabe des BMIs durchgeführt (38, 51), weshalb dieser Vergleich bei gesunden Adipösen ebenfalls neue Erkenntnisse für die klinische Diagnostik einfacher Belastungstests liefert.

4.1.3 Untersuchungsablauf

Die Belastungstests wurden einmal und meist am selben Tag durchgeführt. Durch die aufeinander folgenden Tests könnte die Leistungsfähigkeit aufgrund von Ermüdung bei dem zuletzt durchgeführten Test eingeschränkt sein. Um diesem Bias entgegenzuwirken, wurden zwischen den Belastungstests ausreichende Pausenzeiten eingehalten und der nächste Belastungstest erst nach subjektiver Erholung bzw. Erreichen der Ruheherzfrequenz begonnen (ca. 5 – 10 min). Zusätzlich wurde der CPET, welcher eine maximale Belastung verlangte und wonach mit einer deutlichen Leistungseinschränkung zu rechnen ist, am Ende des Untersuchungstages durchgeführt. Mit der vorliegenden Studie wurden erste Erkenntnisse generiert, die in weiteren Untersuchungen gefestigt werden sollten.

4.1.4 Kardiopulmonaler Belastungstest

Der CPET wurde, nach Abwägung der Vor- und Nachteile von Laufband und Fahrrad, auf dem Laufband durchgeführt (3). Die Bewegung auf dem Laufband stellt eine für alle Probanden gewohnte Bewegungsform dar und ist mit den untersuchten einfachen Belastungstests besser vergleichbar als das Fahrradergometer. Es handelt sich nicht nur um eine ähnliche Bewegungsform, wie Laufen oder Treppensteigen, sondern zeigt auch einen vergleichbaren Einfluss bei vorhandenem Mehrgewicht, der beim Fahrradergometer nicht bestehen würde. Ein weiterer Vorteil für die Evaluation des neuen SCT ist die vertikale Komponente des Laufbandes, die durch Zunahme der Steigung erzeugt wird. Als Belastungsprotokoll wurde das Stufenprotokoll der DGPK nach Dubowy (109) gewählt. Hierbei handelt es sich um ein für eine breite Altersgruppe entwickeltes Laufbandprotokoll (109).

Als Zielvariable wurde VO_{2max} gewählt, da es den Goldstandard zur Einschätzung der CRF darstellt (3, 17, 25). Die VO_{2max} ist von der respiratorischen, kardiovaskulären und muskulären Funktion abhängig, welche notwendig ist, um den Sauerstoff aus der Luft in die Mitochondrien der Muskeln zu transportieren (122, 123). Die Messung der VO_{2max} erfolgt über direkte Breath-by-Breath-Analyse. Es wurde der maximale Wert der Belastungsuntersuchung verwendet. Da sich bei den Probanden, trotz Erfüllung von mindestens zwei aus vier Ausbelastungskriterien kein Plateau in der Sauerstoffaufnahme zeigte, wäre die

genaue Bezeichnung des hier genannten VO_{2max} demzufolge VO_{2peak} . Nachfolgend wird übersichtshalber der Begriff der VO_{2max} verwendet, da dieser klinisch Verwendung findet (123) und die beiden Werte bei Gesunden oft identisch sind (25). Neben der absoluten VO_{2max} wird in der Sportmedizin und in der Klinik häufig der Bezug zum Körpergewicht (VO_{2max}/KG) verwendet (89, 94, 124, 125). Vorteilhaft erscheint die einfache Berechnung, jedoch ist die Körperzusammensetzung zu berücksichtigen, da die VO_{2max} nicht proportional mit dem Körpergewicht zunimmt. Das Erhöhte Körpergewicht bei Adipösen ist hauptsächlich auf die Zunahme der Fettmasse zurückzuführen. Die Fettmasse ist aber metabolisch inaktiv und kann somit keinen Sauerstoff aufnehmen weshalb sie nicht zu einer Zunahme von VO_{2max} führt (3, 89, 90, 92, 126). Jedoch bewirkt das erhöhte Gewicht einen Trainingseffekt und daraus resultiert eine leicht erhöhte Muskelmasse, dies wurde vor allem in der unteren Extremität nachgewiesen (127, 128). Die leicht erhöhte Muskelmasse erklärt wiederum eine Zunahme der VO_{2max} . Deshalb nimmt die VO_{2max} mit zunehmendem Körpergewicht geringfügig, aber nicht proportional, zu. Aufgrund der erhöhten inerten Fettmasse führt die Verwendung von VO_{2max}/KG bei Adipösen zu einer Unterschätzung der CRF (3, 96). Trotz der bekannten Einschränkung findet VO_{2max}/KG großflächig Verwendung. Dieser Parameter wurde in die vorliegende Arbeit mitaufgenommen, um die starke Gewichtsabhängigkeit nochmals zu verdeutlichen. Die vorliegende Studie mit den künstlich Übergewichtigen eignet sich hierfür besonders gut, da bei gleichbleibender CRF die Unterschiede vor allem in VO_{2max}/KG aufgezeigt werden konnten. (3)

4.1.5 6-Minuten-Gehtest

Der 6MWT wurde nach dem standardisierten Protokoll der DGPK und ATS (23) durchgeführt und kann somit gut mit anderen Studienergebnissen verglichen werden. Problematisch erscheint die Wiederholung des 6MWT bei den künstlich Übergewichtigen, da die ATS eine Erhöhung der 6MWD durch einen Trainingseffekt von bis zu 17 % beschreibt. Hier ist jedoch zu beachten, dass die ATS lediglich Studien mit Erkrankten herangezogen hat. Testet man dieses bei gesunden Kindern und Erwachsenen, zeigte sich, dass die erste und zweite erreichte 6MWD nicht signifikant unterschiedlich sind, da der Intraklassenkorrelationskoeffizient sehr hoch ist (129–132). Aufgrund dieser Studien bei Gesunden, stellt dieser Punkt keine gravierende Einschränkung dar. Beim 6MWT wurde der Einfluss von Mehrgewicht in Form einer Gewichtsweste bisher nicht untersucht.

4.1.6 Treppensteigetest

Beim SCT wurden 6 Durchläufe mit unterschiedlichen Modi und Höhen durchgeführt, um die bestmögliche Korrelation mit dem CPET herauszufinden. Es konnte gezeigt werden, dass besonders die maximale Variante, der 6. Durchlauf (schnelles Treppensteigen über 4 Stockwerke), am besten zur Korrelation mit dem CPET geeignet war (133). Die in vorangegangenen Studien vorgeschlagene Höhe von 4 Stockwerken bzw. 12 m (51, 55, 134) wurde in der Pilotstudie zum neuen SCT (133) durch eine höhere Korrelation mit VO_{2max} bestätigt. Die Probanden der vorliegenden Arbeit und der Pilotstudie wurden zeitgleich untersucht, sodass die Probanden für die vorliegende Studie ebenfalls alle sechs Durchläufe ausgeführt haben. Kritisch ist hier das Aufeinanderfolgen der Durchläufe zu sehen, da eine Erschöpfung eintreten könnte. Diesem Bias wurde durch die Pausenzeiten entgegengewirkt, die individuell auf die Bedürfnisse der einzelnen Probanden abgestimmt wurden.

Als Zielvariable wurde die tSCT und der neue SCT-Index festgelegt. Die tSCT wurde schon bei vorangegangenen Varianten des SCT als inverse Korrelation zur erbrachten Leistung erkannt (51, 59). Dieser Zusammenhang erklärt sich durch die physikalische Formel der Leistung (siehe Formel 8). Je weniger Zeit benötigt wird, desto höher ist die erbrachte Leistung. Nach demselben Prinzip setzt sich der SCT-Index (siehe Formel 5) zusammen. Dieser beschreibt einen Index der Physikalischen Leistung während des Treppensteigens. Um die Treppen hinaufsteigen zu können wird Hubarbeit (siehe Formel 9) verrichtet, woraus sich durch Division mit der benötigten Zeit (tSCT) die Leistung ergibt. Der SCT-Index lehnt sich zwar an die Formel an, bildet diese aber nicht direkt ab. Im SCT-Index wird die Erdbeschleunigung vernachlässigt, da es sich hierbei lediglich um eine Konstante handelt. Diese Konstante hat auf die Regressionsanalysen oder den Vergleich keinen Einfluss. Eine ähnliche Formel wurde in vorangegangenen Studien teilweise mit (102, 105) und ohne (101) Erdbeschleunigung verwendet. Bei dem SCT-Index wird die erhöhte Arbeit, die Probanden mit natürlichem oder künstlichem Mehrgewicht aufwenden müssen, berücksichtigt. Dieser neue standardisierte SCT sollte für zukünftige Forschungen verwendet werden und stellt eine einfache Möglichkeit der CRF Messung dar.

Formel 8: Physikalische Leistung

$$P = \frac{W}{t}$$

Formel 9: Physikalische Hubarbeit

$$W(\text{Hub}) = m \times g \times h$$

P [W]: Leistung; W [J]: Arbeit; t [s]: Zeit, m [kg]: Masse; $g \left[\frac{m}{s^2}\right]$: Erdbeschleunigung; h [m]: Höhe

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Abhängigkeit der Belastungstests vom Gewicht

Der Einfluss des Gewichts auf die Messung der CRF konnte in allen untersuchten Belastungstests bestätigt werden.

4.2.1.1 Gewichtseinfluss auf den kardiopulmonalen Belastungstest

In der aktuellen wissenschaftlichen Literatur zum Thema Gewichtseinfluss auf den CPET finden sich kontroverse Ergebnisse.

Einerseits wird eine moderat bis starke Korrelation der $VO_{2\max}$ mit dem Körpergewicht ($r = 0,4758$, $p < 0,01$) beschrieben (92, 93, 96), was durch die vorliegende Studie teilweise unterstützt wird. Wir fanden eine schwache Korrelation ($r = 0,360$) des Gewichts mit der $VO_{2\max}$ (siehe Abbildung 4A) und eine moderate inverse Korrelation ($r = 0,554$) zwischen dem Gewicht und $VO_{2\max}/\text{KG}$ (Abbildung 4B). Diese Ergebnisse stimmen mit den Erkenntnissen von Krachler et al. (92) überein, welche ältere zufällig ausgewählte Probanden der finnischen Bevölkerung untersuchten. Jedoch wichen unsere Ergebnisse von den Erkenntnissen aus Vsetulova und Bunc (93) Studie ab, diese zeigte keine signifikante Korrelation bei jungen adipösen Frauen.

Andererseits stellten wir beim Vergleich der Normalgewichtigen mit Adipösen fest, dass die absolute $VO_{2\max}$ nicht signifikant unterschiedlich ist. Lorenzo und Babb (89) konnten ebenfalls keinen signifikanten Unterschied in deren jungen Probandengruppe nachweisen. Goran et al. (94) untersuchten Frauen vor und nach Gewichtsverlust und konnten, eine um 4 % höhere $VO_{2\max}$ als Ausgangswert vor Gewichtsverlust feststellen. Ebenso konnten Farrell et al. (125) eine um 30 % erhöhte $VO_{2\max}$ bei Adipösen zeigen. Dies ist jedoch kritisch zu betrachten, da die Fallzahl mit sieben adipösen Probanden sehr gering war. Die vorliegenden Daten lassen somit vermuten, dass die $VO_{2\max}$ bei Adipösen gleich oder geringfügig höher ist als bei Normalgewichtigen. Das erhöhte Gewicht besteht hauptsächlich aus metabolisch inaktiver Fettmasse (Siehe Kapitel 4.1.4).

Vergleicht man die Gruppen anhand ihrer VO_{2max}/KG stellt man eine signifikante Reduktion bei Adipösen fest. Die vorliegende Studie zeigt einen um 32 % reduzierten Wert, welcher sehr gut mit der Reduktion um 35 % in der Studie von Lorenzo und Babb (89) vergleichbar ist. Auch weitere Studien erkannten eine signifikante Reduktion von VO_{2max}/KG bei Adipösen (94, 124, 125). Diese Ergebnisse lassen sich ebenfalls auf die überproportionale Zunahme der metabolisch inaktiven Fettmasse zurückführen. Die Gruppe der künstlich Übergewichtigen zeigt, dass diese Reduktion der VO_{2max}/KG tatsächlich mit dem erhöhten Fett- bzw. Gewichtsanteil zusammenhängt, da deren VO_{2max}/KG im Vergleich zu den Normalgewichtigen ohne Zusatzgewicht ebenfalls um 32 % reduziert ist. Die künstlich Übergewichtigen simulieren mit der 25-kg-Gewichtsweste die inerte Fettmasse. Ähnliche Untersuchungen wurde sowohl von Gerhart et al. (119) bei neun weiblichen Probanden ohne und mit 31,75 kg Gewichtsweste durchgeführt, als auch von Louhevaara et al. (120), welche 12 Feuerwehrmänner ohne und mit deren 25,9 kg schweren Equipment untersuchten. Gerhardt et al. zeigten eine Reduktion der VO_{2max}/KG um 15 % und Louhevaara et al. eine Reduktion von 27 %. Aus den vorliegenden Daten lässt sich schließen, dass VO_{2max}/KG bei Adipösen keine adäquate Standardisierung darstellt, da es deren CRF unterschätzt. Mit den vorliegenden Ergebnissen, konnten sowohl die Resultate der ATS/ACCP (3) als auch die von Lorenz und Babb. (89) bestärkt werden.

Bei Louhevaara et al. (120) konnte im Gegensatz zu den vorliegenden Daten kein signifikanter Unterschied zwischen der absoluten VO_{2max} ohne und mit Zusatzgewicht gefunden werden. Die vorliegende Studie konnte eine Reduktion der VO_{2max} von 7 % bei den künstlich Übergewichtigen im Vergleich zu den Normalgewichtigen zeigen. Diese Reduktion lässt sich am ehesten mit einem, im Gegensatz zu den Feuerwehrmännern, mangelnden Training mit dem künstlichen Mehrgewicht erklären. Ähnliche Rückschlüsse zogen Phillips et al. (121) welche eine Reduktion von VO_{2max} um 2,5 % bei ihren männlichen Probanden feststellen konnten.

Die vorliegende Studie vergleicht nach unserem Wissen erstmalig künstlich Übergewichtige mit Adipösen. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich VO_{2max} und VO_{2max}/KG zwischen den Gruppen. Die erhobenen Ergebnisse lassen einen entscheidenden Einfluss des Gewichts auf die CPET vermuten und suggerieren somit eine realitätsnahe Simulation von Übergewicht mittels Gewichtsweste. Die Gewichtsweste simuliert eine zusätzliche inerte Fettmasse von 25 kg, ohne Änderung der Muskelmasse. Auch wenn äußere Einflussfaktoren wie Fitnesslevel oder der tatsächliche BMI zu berücksichtigen sind, scheint es ein gutes Modell zur Simulation von Adipositas darzustellen.

Mit der vorliegenden Studie konnte auch gezeigt werden, dass beide im CPET erhobenen Parameter zumindest teilweise vom Gewicht abhängig sind und deshalb die Hypothese 1 unterstützen. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass ein Mehrgewicht, sei es künstlich oder natürlich, einen erheblichen Einfluss auf die Messung der CRF hat und unterstützt somit Hypothese 2.

4.2.1.2 Gewichtseinfluss auf den 6-Minuten Gehstest

Mit dieser Studie konnte hinsichtlich des 6MWT eine schwache inverse Korrelation (siehe Abbildung 6) der zurückgelegten Distanz mit dem Gewicht gezeigt werden ($r = 0,241$, $p = 0,022$). Die Ergebnisse von Hulens et al. (135) zeigten ebenfalls eine inverse Korrelation der 6MWD mit dem Gewicht ($r = 0,68$, $p \leq 0,0001$) bei einer Fallzahl von 300 schlanken und adipösen Frauen. Im Gegensatz dazu fanden Troosters et al. (97) und Hill et al. (136) eine nicht signifikante Korrelation bei ihren Untersuchungen. Hier ist jedoch anzumerken, dass es sich um ältere Probanden handelte und deshalb nicht direkt mit unseren Ergebnissen verglichen werden kann. Die Adipösen mit dem mittleren BMI von 34 kg/m^2 erreichten im Vergleich zu Normalgewichtigen eine um 15 % reduzierte 6MWD. Diese Ergebnisse stimmten mit den aus früheren Studien gezeigten Ergebnissen überein. Hulens et al. (135) beobachtete in Stichproben mit einem mittleren BMI von $32,3 \text{ kg/m}^2$ und $40,7 \text{ kg/m}^2$ eine um 18 % und 25 % reduzierte 6MWD im Vergleich zu Normalgewichtigen. Auch Larsson und Reynisdottir (137) konnten eine um 23 % verringerte 6MWD bei einer Stichprobe mit mittlerem BMI von 40 kg/m^2 aufzeigen. Daraus lässt sich ableiten, dass es mit zunehmendem BMI zu einer Reduktion der 6MWD kommt.

Die künstlich Übergewichtigen mit einem mittleren BMI von 30 kg/m^2 hatten eine um 10 % reduzierte 6MWD im Vergleich zu den Normalgewichtigen. Somit befinden sich die künstlich Übergewichtigen nicht nur mit dem BMI, sondern auch mit der 6MWD zwischen den Ergebnissen der Normalgewichtigen und denen der Adipösen. Bisher finden sich hierzu in der Literatur keine vergleichbaren Studien.

Beim 6MWT wurden ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen künstlich Übergewichtigen und Adipösen festgestellt. Auch hier scheint die vorliegende Studie ein Vorreiter dieses Vergleichs zu sein. Die Simulation von Adipositas mit einer Gewichtsweste scheint bei der Durchführung von submaximalen Belastungstest sehr gut zu funktionieren. Somit ist davon auszugehen, dass die reduzierte 6MWD vor allem durch das Mehrgewicht bedingt ist.

Beim 6MWT konnte mit der vorliegenden Studie ebenfalls gezeigt werden, dass die 6MWD vom Gewicht abhängig ist und deshalb die Hypothese 1 unterstützt. Ebenso konnte gezeigt werden, dass ein künstliches oder natürliches

Mehrgewicht einen erheblichen Einfluss auf die Messung der CRF beim 6MWT hat und unterstützt somit Hypothese 2.

4.2.1.3 Gewichtseinfluss auf den Treppensteigttest

Die kardiorespiratorische Fitness wird beim SCT in unterschiedlicher Hinsicht durch das Gewicht beeinflusst. Im Folgenden wird zuerst die Treppensteigzeit und anschließend der neue Treppensteig-Index betrachtet.

4.2.1.3.1 Treppensteigzeit

Die vorliegenden Ergebnisse (siehe Abbildung 8A) zeigen eine signifikante moderate Korrelation des Gewichts mit der tSCT ($r = 0,412$, $p < 0,001$). Es konnte beobachtet werden, dass Adipöse signifikant langsamer Treppensteigen als Normalgewichtige. In der vorliegenden Studie wurde eine um 22 % erhöhte tSCT bei Adipösen gemessen. Diese Beobachtung lässt sich dadurch erklären, dass durch das Mehrgewicht mehr Arbeit erforderlich ist, um die Treppen hinaufzusteigen. Das äußert sich bei gleichbleibender Leistung in mehr benötigter Zeit bzw. einer langsameren Steiggeschwindigkeit. Kitagawa et al. (101) konnte keinen signifikanten Unterschied der Steiggeschwindigkeit zwischen Adipösen und Normalgewichtigen zeigen. Jedoch ist hier zu beachten, dass diese adipöse Gruppe ein mittleres Gewicht von 74,68 kg bei einer mittleren Größe von 1,707 m hatte, hieraus ergibt sich folglich ein BMI 25,6 kg/m², der per Definition keine Adipositas diagnostiziert und deshalb nicht als adipös gewertet werden sollten. In der Literaturrecherche konnten keine weiteren Studien zum Gewichtseinfluss auf die tSCT gefunden werden.

Die künstlich Übergewichtigen stiegen ebenfalls signifikant langsamer Treppen als Normalgewichtige. Es wurde eine um 26 % erhöhte tSCT aufgezeichnet. Auch Perron et al. (64) beschrieb eine Erhöhung der tSCT um 4 % bei einem Zusatzgewicht von 10 kg in deren gesunder Kontrollgruppe. Kitagawa et al. (101) konnte eine verlangsamte Treppensteiggeschwindigkeit bei jungen Studenten mit Zusatzgewicht feststellen. Zwischen den Adipösen und künstlich Übergewichtigen wurde in vorliegender Studie kein signifikanter Unterschied in der tSCT gezeigt. In der Treppensteiggeschwindigkeit lassen die Ergebnisse von Kitagawa et al. keinen Unterschied zwischen den adipösen Studenten und denen mit Zusatzgewicht erkennen. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse lässt sich vermuten, dass die höhere tSCT auf das inerte Mehrgewicht zurückzuführen ist.

4.2.1.3.2 Treppensteig-Index

Unsere Untersuchungen (siehe Abbildung 8B) zeigen ebenfalls eine signifikante starke Korrelation des Gewichts mit dem SCT-Index ($r = 0,764$, $p < 0,001$). Diese Ergebnisse bestätigen die Untersuchungen von Kitagawa et al. (101), welche eine signifikante Korrelation mit SCT-Index ($r = 0,733$, $p < 0,001$) zeigten. Bei den Adipösen wurde ein höherer SCT-Index gefunden als bei den anderen Gruppen. Der SCT-Index beschreibt die Leistung beim Treppensteigen. Da das Körpergewicht mit in die Formel einfließt, erreichen Menschen mit höherem Gewicht einen höheren SCT-Index. Die Adipösen erzielten in der vorliegenden Studie die höchsten Ergebnisse im SCT-Index, wobei diese um 32 % höher als die der Normalgewichtigen lagen. Künstlich Übergewichtige erreichten einen um 11 % höheren Wert als Normalgewichtige. Die untersuchten Adipösen, welche im Mittel um 14,4 kg schwerer als die künstlich Übergewichtigen waren, erzielten einen um 18 % höheren SCT-Index als die künstlich Übergewichtigen. Ähnliche Ergebnisse konnten in vorangegangenen Studien erhoben werden, Lafortuna et al. (102) und Kitagawa et al. (101) beschrieben z.B. eine Zunahme der Treppensteigleistung bei den Adipösen im Vergleich zu Normalgewichtigen um 18 % bzw. 13,7%. Caiozzo und Kyle (106) und Kitagawa et al. (101) konnte bei künstlich Übergewichtigen mit 20,1 kg Zusatzgewicht einen um 9,3 % (101), mit 24,2 kg einen um 14 % und mit 29,2 kg einen um 16 % (106) höheren Wert im SCT-Index im Vergleich zu Normalgewichtigen feststellen.

Auch im SCT ist die Abhängigkeit vom Gewicht deutlich ersichtlich. Bei der tSCT benötigen die Probanden durch das Mehrgewicht mehr Zeit, ebenso wurden beim SCT-Index durch das Mehrgewicht höhere Ergebnisse erzielt. Hierdurch wird die Hypothese 1, dass das Körpergewicht Einfluss auf die Aussagekraft der CRF beim SCT hat, unterstützt. Die Hypothese 2, welche besagt, dass dieser Einfluss durch künstliches Mehrgewicht simulieren lässt, wird in Bezug auf tSCT unterstützt. Ebenso kann die Hypothese 2 in Bezug auf den SCT-Index, welche eine Erhöhung der Ergebnisse in beiden Gruppen mit Mehrgewicht im Vergleich zu den Normalgewichtigen zeigt, angewandt werden. Hier ist zu berücksichtigen, dass ein Gewichtsunterschied zwischen den Adipösen und künstlich Übergewichtigen besteht und deshalb der SCT-Index in unterschiedlichem Ausmaß erhöht ist.

4.2.1.4 Schussfolgerung

Nach unserem Wissen existieren nur sehr wenige Studien, mit zudem geringer Fallzahl, die künstlich Übergewichtige und Adipöse hinsichtlich ihrer CRF vergleichen. Somit stellt die vorliegende Studie neue Ergebnisse mit vernünftiger Fallzahl dar. Mit den Ergebnissen unserer Studie konnte Hypothese 1 bestätigt werden. Gewicht hat einen Einfluss auf Ergebnisse der Belastungstests. Dies trifft sowohl für Adipöse als auch für künstlich Übergewichtige zu. Sowohl im 6MWT als auch im SCT zeigt sich eine signifikante Korrelation zwischen dem Gewicht und den erreichten Ergebnissen. Außerdem unterscheiden sich die Ergebnisse der Adipösen und der künstlich Übergewichtigen signifikant von den Normalgewichtigen. Beim 6MWT scheint der Gewichtseinfluss weniger relevant zu sein, dies ist am ehestens auf die Tatsache zurückzuführen, dass es sich beim 6MWT um eine waagrechte Fortbewegung handelt und auf der Grundlage einfacher physikalischer Gesetze die Bewegung des Gewichts vor allem bei der vertikalen Komponente mehr Arbeit erfordert.

Da der Gewichtseinfluss auf die Belastungstests bei den künstlich Übergewichtigen und Adipösen gleichsinnig verläuft, kann auch Hypothese 2 als bestätigt angesehen werden.

In Zusammenschau dieser Erkenntnisse stellt die Interpretation der untersuchten Belastungstest bei Adipösen eine besondere Herausforderung dar. Um die CRF weder zu über- noch zu unterschätzen müssen dem BMI angepasste Referenzwerte verwendet werden oder weitere Studien zur besseren Standardisierung bei höheren BMI-Klassen durchgeführt werden.

Aus vorliegender Studie können erste Referenzwerte für gesunde Adipöse im Alter von 21-30 Jahren erstellt werden (siehe Tabelle 4: Ergebnisse der BelastungstestsTabelle 4)

4.2.2 Korrelation der einfachen Belastungstests mit dem kardiopulmonalen Belastungstest

Der CPET stellt den Goldstandard unter den Belastungstests dar. Deshalb wurden die untersuchten einfachen Belastungstests bei Adipösen mithilfe der VO_{2max} evaluiert. Es zeigten sich moderat bis starke Korrelationen zwischen den einfachen Belastungstests und dem Goldstandard. Da bei Adipösen die VO_{2max}/KG die CRF massiv unterschätzt, sollte für die Korrelationen die VO_{2max} verwendet werden.

4.2.2.1 Korrelation des 6 Minuten Gehtest mit der maximalen Sauerstoffaufnahme

Die vorliegenden Daten zeigen eine moderate Korrelation ($r = 0,582$; $p < 0,001$) der 6MWD mit der VO_{2max} bei Adipösen (siehe Abbildung 10A). Anderson und Nilsson (138) untersuchten junge gesunde Erwachsene und fanden keine Korrelation zwischen 6MWD und VO_{2max} . Diese kontroversen Ergebnisse lassen vermuten, dass mithilfe des 6MWT die Schätzung der VO_{2max} zwar möglich ist, jedoch lediglich richtungsweisend. Die Autoren diskutierten die submaximale Ausbelastung des kardiorespiratorischen Systems von Gesunden bei diesem Belastungstest als ursächlich, was ein verlässliches CRF-Ergebnis verhindert. In Studien wurde eine Belastung von 72 – 83 % der VO_{2max} beim 6MWT beschrieben (27, 139, 140). Beim 6MWT handelt es sich um einen einfachen und in kurzer Zeit durchführbaren Belastungstest, der eine Näherung der VO_{2max} angeben kann. Als Screeningverfahren ist er jedoch z.B. in der Lungenchirurgie nur bedingt geeignet wie in den Empfehlung der European Respiratory Society und European Society of Thoracic Surgery publiziert wurde (36).

Die meisten Untersuchungen der Korrelation von 6MWT zum CPET bezogen sich auf die VO_{2max}/KG , was aufgrund der Unterschätzung der CRF keinen verlässlichen Messwert bei Adipösen darstellt. Um die Ergebnisse mit der vorhandenen Literatur vergleichen zu können, wurde ebenfalls mit der VO_{2max}/KG korreliert (siehe Abbildung 10B). In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich eine signifikante moderate Korrelation der VO_{2max}/KG mit der 6MWD ($r = 0,541$, $p < 0,001$). Mänttari et al. (27) beobachtete eine signifikante Korrelation bei Frauen ($r = 0,437$; $p = 0,001$) und Männern ($r = 0,679$, $p = 0,001$) für einen mittleren BMI von $24,2 \text{ kg/m}^2$, jedoch scheiterte dieses Model bei Adipösen. Šagát et al. (141) zeigten in deren älteren übergewichtigen Studienpopulation ebenfalls eine signifikante Korrelation ($r = 0,71$; $p < 0,001$). Zu anderen Ergebnissen kam Dourado et al. (28), sie untersuchten gesunde Übergewichtige und erkannte einen exponentiellen Zusammenhang mit einem berechneten Regressionskoeffizient von 0,74. Cataneo et al. (50) zeigte eine lineare

Korrelation ($r = 0,611$, $p < 0,005$) zwischen VO_{2max}/KG und 6MWD, jedoch handelt es sich hierbei um Patienten, die eine Lungenfunktionsdiagnostik erhielten, es wurden keine anthropometrischen Werte angegeben und somit kann kein BMI ermittelt werden. Anderson und Nilsson (138) untersuchten junge gesunde Erwachsene und fanden eine geringe, nicht signifikante Korrelation zwischen 6MWD und VO_{2max}/KG . Di Thommazo-Luporini et al. (139) erkannte eine signifikante Korrelation bei adipösen Frauen zwischen 6MWD und VO_{2max}/KG ($r = 0,43$, $p < 0,05$). Aufgrund der eingeschränkten Datenlage bei Adipösen und der nicht adäquaten Abbildung der CRF durch VO_{2max}/KG , lassen sich die vorliegenden Ergebnisse nur begrenzt mit der Literatur vergleichen. Auf Grundlage der in unserer Studie festgestellten moderaten Korrelation mit VO_{2max} kann die Hypothese 3 in Bezug auf den 6MWT bei gesunden Adipösen unterstützt werden.

4.2.2.2 Korrelation des Treppensteigtestes mit der maximalen Sauerstoffaufnahme

Die vorliegenden Daten zeigen eine moderate Korrelation ($p < 0,000$, $r = 0,572$) der tSCT und eine starke Korrelation ($p < 0,000$, $r = 0,822$) des SCT-Index mit dem VO_{2max} bei Adipösen (siehe Abbildung 11A und Abbildung 12A). Diese Korrelation lässt vermuten, dass der SCT, und besonders der SCT-Index, bei Adipösen sehr gut als einfacher Belastungstest zur Abschätzung der VO_{2max} verwendet werden kann. Einige Studien nach verschiedenen durchgeführten Protokollen der SCTs mit Normalgewichten fanden eine Korrelation zwischen den SCT-Variablen und VO_{2max}/KG (51, 56, 57, 59). Jedoch fehlen vor allem bei den Adipösen Untersuchungen hinsichtlich dieser Korrelation. Die vorliegende Studie unterstützt die vorhandene Korrelation und zeigt eine schwache bis moderate Korrelation des SCT mit der VO_{2max}/KG bei Adipösen (tSCT: $r = 0,711$, $p < 0,001$; SCT-Index: $r = 0,374$, $p = 0,003$, siehe Abbildung 11B und Abbildung 12B). Bei den Patienten zur Lungenfunktionsdiagnostik von Cataneo et al. (51) konnte eine moderate Korrelation bei deren Korrelat des SCT-Index mit VO_{2max}/KG ($r = 0,515$; $p < 0,005$) und eine starke Korrelation bei der tSCT mit VO_{2max}/KG ($r = 0,707$; $p < 0,005$) gezeigt werden. Die unterschiedlich starke Korrelation der tSCT und des SCT-Index mit VO_{2max} und VO_{2max}/KG ist auf die unterschiedliche Berücksichtigung des Körpergewichts zurückzuführen. Da es sich bei VO_{2max}/KG , um ein für Adipöse nicht adäquate Darstellung der CRF handelt, gehen wir aufgrund des stärkeren Korrelationskoeffizienten davon aus, dass der SCT-Index die akkuratere Messung der CRF im Vergleich zur tSCT bei der untersuchten Gruppe darstellt. Die gute Korrelation im SCT lässt sich durch eine annähernd maximale Ausbelastung des kardiorespiratorischen Systems erklären. Beim Treppensteigen werden Werte von 84 – 94 % der VO_{2max} erreicht

(142, 143). Somit könnte der hier vorgeschlagene einfache SCT mit dem SCT-Index eine Alternative zum aufwendigen CPET bei Adipösen darstellen. Aufgrund der bekannten Datenlage wird Hypothese 3 in Bezug auf den SCT bestätigt.

4.2.3 Optimaler einfacher Belastungstests für Adipöse

Um den optimalen einfachen Belastungstest für Adipöse zu wählen, wurden die standardisierten Regressionskoeffizienten des 6MWT und SCT verglichen. Dies ergab eine moderate Korrelation ($r = 0,507$) beim 6MWT und eine moderate (tSCT: $r = 0,474$) bzw. starke Korrelation (SCT-Index: $r = 0,758$) beim SCT mit VO_{2max} . Die erhobenen Ergebnisse zeigen deutlich, dass sich der SCT-Index bei jungen gesunden Adipösen am besten zur Einschätzung der CRF eignet. Dies lässt sich, wie oben erläutert durch die Ausbelastung des kardiorespiratorischen Systems während dieser einfachen Belastungstests erklären. Unsere Ergebnisse bestätigen die Überlegenheit des SCT gegenüber des 6MWT, wie bereits in den vorausgehenden Forschungen von Cataneo et al. (50) und Kubori et al (38) bei deren Patientenkollektiv gezeigt wurde. Somit wird mit unserer Studie und der Literatur die Hypothese 4, dass der SCT bei Adipösen geeigneter ist als der 6MWT, belegt. Die VO_{2max} könnte womöglich mit der vorgestellten Umrechnungsformel des SCT-Index abgeschätzt werden (siehe Formel 7).

4.3 Ausblick

Weltweit leben derzeit mehr als 650 Millionen Adipöse (67) die insbesondere von einer einfachen CRF-Evaluation profitieren würden (86). Somit sind die vorliegenden Ergebnisse besonders für die klinischen Praxis relevant. Aufgrund des hohen Ressourcenaufwandes ist eine flächendeckende Einführung des CPET nicht vorstellbar. Einfache Belastungstests könnten hier als einfache, überall durchführbare, kostengünstige und schnelle Alternative zur Einschätzung der CRF Abhilfe schaffen. Insbesondere der SCT ist ein objektiver, leicht durchzuführender und ressourcenschonender Belastungstest, der stark mit der VO_{2max} korreliert. Durch die fehlende organsystemspezifische Differenzierbarkeit des SCT, wird dieser den CPET als Goldstandard nicht vollständig ersetzen können. Jedoch könnte der CPET durch den SCT ergänzt und der CPET nur bei Grenzfällen zur finalen Entscheidungsfindung zwingend benötigt werden. Dies wurde bereits in der Lungenchirurgie zur Abschätzung des Operationsrisikos vorgeschlagen (42, 43, 48). Durch den Einsatz des SCT als kostengünstige Screening Methode könnte das Gesundheitssystem entlastet und die Patientensicherheit erhöht werden. Zum einen können direkt Kosten bei der Belastungsuntersuchung gespart werden, da nur selten eine teure CPET erforderlich ist. Zum anderen ist der SCT wie bereits mehrfach erwähnt, einfach, überall und in kurzer Zeit durchführbar. Deshalb könnte die Anzahl der durchgeführten Belastungstests ausgeweitet und die Patienten könnten z.B. mit dem neuen SCT präventiv von ihrem Hausarzt gescreent werden. Bei niedriger CRF könnte gezielt eingegriffen und somit die Morbidität und Mortalität entsprechend reduziert werden. Indirekt könnten hierdurch ebenfalls Kosten eingespart werden. Besonders bei Adipösen wäre eine Belastungsuntersuchung zur präoperativen Risikobewertung indiziert (74), was ebenfalls mit dem Einsatz des einfachen SCT verwirklicht werden könnte.

Der Vergleich von Adipösen mit künstlich Übergewichtigen zeigte ähnliche Ergebnisse und stellt eine einfache Möglichkeit zur Simulation von Adipositas dar. Dieser Vergleich sollte Teil weiterer Studien sein.

Um den SCT umfänglich in die Praxis integrieren und evidenzbasierte Entscheidungen treffen zu können, werden weitere Studien zur Reliabilität und Validität des vorgeschlagenen standardisierten Protokolls und der Umrechnungsformel des SCT-Index empfohlen. Auch Maffiuletti et al (4) warnte bei der bisher geringen Datenlage davor, Therapieevaluationen und Verlaufsbeurteilungen mittels SCT allein zu werten. Es sollten Referenzwerte für eine große BMI-Spannbreite etabliert werden, um die CRF mit dem Gewichtseinfluss nicht zu über- oder unterschätzen.

5. Literatur

1. Shah RV, Murthy VL, Colangelo LA, Reis J, Venkatesh BA, Sharma R et al. Association of Fitness in Young Adulthood With Survival and Cardiovascular Risk: The Coronary Artery Risk Development in Young Adults (CARDIA) Study. *JAMA Intern Med* 2016; 176(1):87–95. doi: 10.1001/jamainternmed.2015.6309.
2. Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Després J-P, Franklin BA et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 2016; 134(24):e653-e699. doi: 10.1161/CIR.0000000000000461.
3. American Thoracic Society, American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 167(2):211–77. doi: 10.1164/rccm.167.2.211.
4. Maffioletti NA, Tringali G, Patrizi A, Agosti F, Sartorio A. Reproducibility of clinician-friendly physical performance measures in individuals with obesity. *J Rehabil Med* 2017; 49(8):677–81. doi: 10.2340/16501977-2263.
5. Hager A, Bjarnason-Wehrens B, Oberhoffer R, Hövels-Gürich H, Lawrenz W, Dubowy KO et al. Leitlinie Pädiatrische Kardiologie: Sport bei angeborenen Herzerkrankungen. Beschlossen vom Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie am 6.6. 2015 2015:1–18.
6. Kodama S, Saito K, Tanaka S, Maki M, Yachi Y, Asumi M et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA* 2009; 301(19):2024–35. doi: 10.1001/jama.2009.681.
7. Fardman A, Banschick GD, Rabia R, Percik R, Segev S, Klempfner R et al. Cardiorespiratory Fitness Is an Independent Predictor of Cardiovascular Morbidity and Mortality and Improves Accuracy of Prediction Models. *The Canadian Journal of Cardiology* 2021; 37(2):241–50. doi: 10.1016/j.cjca.2020.05.017.
8. Chen X, Cui J, Zhang Y, Peng W. The association between BMI and health-related physical fitness among Chinese college students: a cross-sectional study. *BMC Public Health* 2020; 20(1):444. doi: 10.1186/s12889-020-08517-8.

9. Swainson MG, Ingle L, Carroll S. Cardiorespiratory fitness as a predictor of short-term and lifetime estimated cardiovascular disease risk. *Scand J Med Sci Sports* 2019; 29(9):1402–13. doi: 10.1111/sms.13468.
10. Harber MP, Kaminsky LA, Arena R, Blair SN, Franklin BA, Myers J et al. Impact of Cardiorespiratory Fitness on All-Cause and Disease-Specific Mortality: Advances Since 2009. *Prog Cardiovasc Dis* 2017; 60(1):11–20. doi: 10.1016/j.pcad.2017.03.001.
11. Mandadzhieva S, Marinov B, Kostianev S, Turnovska T. Anthropometric and cardiopulmonary parameters in Bulgarian and Romany children: cross-sectional study. *Croat Med J* 2005; 46(2):294–301.
12. Lee CD, Blair SN, Jackson AS. Cardiorespiratory fitness, body composition, and all-cause and cardiovascular disease mortality in men. *Am J Clin Nutr* 1999; 69(3):373–80. doi: 10.1093/ajcn/69.3.373.
13. Wei M, Kampert JB, Barlow CE, Nichaman MZ, Gibbons LW, Paffenbarger RS, JR et al. Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal-weight, overweight, and obese men. *JAMA* 1999; 282(16):1547–53. doi: 10.1001/jama.282.16.1547.
14. Church TS, LaMonte MJ, Barlow CE, Blair SN. Cardiorespiratory fitness and body mass index as predictors of cardiovascular disease mortality among men with diabetes. *Arch Intern Med* 2005; 165(18):2114–20. doi: 10.1001/archinte.165.18.2114.
15. Vranian MN, Keenan T, Blaha MJ, Silverman MG, Michos ED, Minder CM et al. Impact of fitness versus obesity on routinely measured cardiometabolic risk in young, healthy adults. *Am J Cardiol* 2013; 111(7):991–5. doi: 10.1016/j.amjcard.2012.12.022.
16. Davidson LE, Hunt SC, Adams TD. Fitness versus adiposity in cardiovascular disease risk. *Eur J Clin Nutr* 2019; 73(2):225–30. doi: 10.1038/s41430-018-0333-5.
17. Wilder RP, Greene JA, Winters KL, Long WB3, Gubler K, Edlich RF. Physical fitness assessment: an update. *J Long Term Eff Med Implants* 2006; 16(2):193–204. doi: 10.1615/jlongtermeffmedimplants.v16.i2.90.
18. Kolu P, Raitanen J, Sievänen H, Tokola K, Vähä-Ypyä H, Nieminen E et al. Cardiorespiratory fitness is associated with sickness absence and work ability. *Occup Med (Lond)* 2022; 72(7):478–85. doi: 10.1093/occmed/kqac070.

19. McAuley PA, Blaha MJ, Keteyian SJ, Brawner CA, Al Rifai M, Dardari ZA et al. Fitness, Fatness, and Mortality: The FIT (Henry Ford Exercise Testing) Project. *Am J Med* 2016; 129(9):960-965.e1. doi: 10.1016/j.amjmed.2016.04.007.
20. McAuley PA, Beavers KM. Contribution of cardiorespiratory fitness to the obesity paradox. *Prog Cardiovasc Dis* 2014; 56(4):434–40. doi: 10.1016/j.pcad.2013.09.006.
21. Kaminsky LA, Arena R, Ellingsen Ø, Harber MP, Myers J, Ozemek C et al. Cardiorespiratory fitness and cardiovascular disease - The past, present, and future. *Prog Cardiovasc Dis* 2019; 62(2):86–93. doi: 10.1016/j.pcad.2019.01.002.
22. Prince SA, Adamo KB, Hamel ME, Hardt J, Connor Gorber S, Tremblay M. A comparison of direct versus self-report measures for assessing physical activity in adults: a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2008; 5. doi: 10.1186/1479-5868-5-56.
23. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Funktion Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166(1):111–7. doi: 10.1164/ajrccm.166.1.at1102.
24. Rodriguez M. Stair-climbing test: beyond the height. *Thorax* 2020; 75(9):716. doi: 10.1136/thoraxjnl-2020-214966.
25. Tran D. Cardiopulmonary Exercise Testing. *Methods Mol Biol* 2018; 1735:285–95. doi: 10.1007/978-1-4939-7614-0_18.
26. Semper H, Kühnelt P, Seipp P. Cardiopulmonary Exercise Testing-Step by Step. *Dtsch Med Wochenschr* 2019; 144(1):39–45. doi: 10.1055/a-0600-9233.
27. Mänttari A, Suni J, Sievänen H, Husu P, Vähä-Ypyä H, Valkeinen H et al. Six-minute walk test: a tool for predicting maximal aerobic power (VO₂ max) in healthy adults. *Clin Physiol Funct Imaging* 2018; 38:1038–45. doi: 10.1111/cpf.12525.
28. Dourado VZ, Nishiaka RK, Simões, M S M P, Lauria VT, Tanni SE, Godoy I et al. Classification of cardiorespiratory fitness using the six-minute walk test in adults: Comparison with cardiopulmonary exercise testing. *Pulmonology* 2021; 27(6):500–8. doi: 10.1016/j.pulmoe.2021.03.006.
29. Burr JF, Bredin SSD, Faktor MD, Warburton DER. The 6-minute walk test as a predictor of objectively measured aerobic fitness in healthy working-

- aged adults. *Phys Sportsmed* 2011; 39(2):133–9. doi: 10.3810/psm.2011.05.1904.
30. Balke B. A simple field test for the assessment of physical fitness. *REP* 63-6. *Rep Civ Aeromed Res Inst US* 1963:1–8.
31. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA* 1968; 203(3):201–4.
32. Belza B, Steele BG, Hunziker J, Lakshminaryan S, Holt L, Buchner DM. Correlates of physical activity in chronic obstructive pulmonary disease. *Nurs Res* 2001; 50(4):195–202. doi: 10.1097/00006199-200107000-00003.
33. Sava F, Laviolette L, Bernard S, Breton M-J, Bourbeau J, Maltais F. The impact of obesity on walking and cycling performance and response to pulmonary rehabilitation in COPD. *BMC Pulm Med* 2010; 10. doi: 10.1186/1471-2466-10-55.
34. Bennell K, Dobson F, Hinman R. Measures of physical performance assessments: Self-Paced Walk Test (SPWT), Stair Climb Test (SCT), Six-Minute Walk Test (6MWT), Chair Stand Test (CST), Timed Up & Go (TUG), Sock Test, Lift and Carry Test (LCT), and Car Task. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2011; 63 Suppl 11:350-370. doi: 10.1002/acr.20538.
35. Matos Casano HA, Anjum F. Six-Minute Walk Test. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL); 2023.
36. Brunelli A, Charloux A, Bolliger CT, Rocco G, Sculier J-P, Varela G et al. ERS/ESTS clinical guidelines on fitness for radical therapy in lung cancer patients (surgery and chemo-radiotherapy). *Eur Respir J* 2009; 34(1):17–41. doi: 10.1183/09031936.00184308.
37. Brunelli A, Pompili C, Salati M. Low-technology exercise test in the preoperative evaluation of lung resection candidates. *Monaldi Arch Chest Dis* 2010; 73(2):72–8. doi: 10.4081/monaldi.2010.301.
38. Kubori Y, Matsuki R, Hotta A, Morisawa T, Tamaki A. Comparison between stair-climbing test and six-minute walk test after lung resection using video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy. *J Phys Ther Sci* 2017; 29(5):902–4. doi: 10.1589/jpts.29.902.
39. Kubori Y, Matsuki R, Hotta A, Morisawa T, Tamaki A. Association between Pulmonary Function and Stair-Climbing Test Results after Lung Resection: A Pilot Study. *Can Respir J* 2018; 2018. doi: 10.1155/2018/1925028.
40. Girish M, Trayner E, Dammann O, Pinto-Plata V, Celli B. Symptom-limited stair climbing as a predictor of postoperative cardiopulmonary complications

- after high-risk surgery. *Chest* 2001; 120(4):1147–51. doi: 10.1378/chest.120.4.1147.
41. Brunelli A, Al Refai M, Monteverde M, Borri A, Salati M, Fianchini A. Stair climbing test predicts cardiopulmonary complications after lung resection. *Chest* 2002; 121(4):1106–10. doi: 10.1378/chest.121.4.1106.
42. Brunelli A, Salati M. Preoperative evaluation of lung cancer: predicting the impact of surgery on physiology and quality of life. *Curr Opin Pulm Med* 2008; 14(4):275–81. doi: 10.1097/MCP.0b013e328300caac.
43. Brunelli A, Refai M, Xiumé F, Salati M, Sciarra V, Socci L et al. Performance at symptom-limited stair-climbing test is associated with increased cardiopulmonary complications, mortality, and costs after major lung resection. *Ann Thorac Surg* 2008; 86(1):240-247; discussion 247-248. doi: 10.1016/j.athoracsur.2008.03.025.
44. Brunelli A. Risk assessment for pulmonary resection. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2010; 22(1):2–13. doi: 10.1053/j.semtcvs.2010.04.002.
45. Brunelli A, Xiumé F, Refai M, Salati M, Di Nunzio L, Pompili C et al. Peak oxygen consumption measured during the stair-climbing test in lung resection candidates. *Respiration* 2010; 80(3):207–11. doi: 10.1159/000279331.
46. Brunelli A, Kim AW, Berger KI, Addrizzo-Harris DJ. Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery: Diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 2013; 143(5 Suppl):e166S-e190S. doi: 10.1378/chest.12-2395.
47. Olsen GN, Bolton JW, Weiman DS, Hornung CA. Stair climbing as an exercise test to predict the postoperative complications of lung resection. Two years' experience. *Chest* 1991; 99(3):587–90. doi: 10.1378/chest.99.3.587.
48. Boujibar F, Gillibert A, Gravier FE, Gillot T, Bonnevie T, Cuvelier A et al. Performance at stair-climbing test is associated with postoperative complications after lung resection: a systematic review and meta-analysis. *Thorax* 2020; 75(9):791–7. doi: 10.1136/thoraxjnl-2019-214019.
49. Holden DA, Rice TW, Stelmach K, Meeker DP. Exercise testing, 6-min walk, and stair climb in the evaluation of patients at high risk for pulmonary resection. *Chest* 1992; 102(6):1774–9. doi: 10.1378/chest.102.6.1774.

50. Cataneo DC, Kobayasi S, Carvalho LR de, Paccanaro RC, Cataneo AJM. Accuracy of six minute walk test, stair test and spirometry using maximal oxygen uptake as gold standard. *Acta Cir Bras* 2010; 25(2):194–200. doi: 10.1590/s0102-86502010000200013.
51. Cataneo DC, Cataneo AJM. Accuracy of the stair climbing test using maximal oxygen uptake as the gold standard. *J Bras Pneumol* 2007; 33(2):128–33. doi: 10.1590/s1806-37132007000200005.
52. Ambrozin ARP, Cataneo DC, Arruda KA, Cataneo AJM. Time in the stair-climbing test as a predictor of thoracotomy postoperative complications. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2013; 145(4):1093–7. doi: 10.1016/j.jtcvs.2012.09.001.
53. Arruda KA, Cataneo DC, Cataneo AJM. Surgical risk tests related to cardiopulmonary postoperative complications: comparison between upper abdominal and thoracic surgery. *Acta Cir Bras* 2013; 28(6):458–66. doi: 10.1590/s0102-86502013000600010.
54. Reddy S, Contreras CM, Singletary B, Bradford TM, Waldrop MG, Mims AH et al. Timed Stair Climbing Is the Single Strongest Predictor of Perioperative Complications in Patients Undergoing Abdominal Surgery. *J Am Coll Surg* 2016; 222(4):559–66. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2016.01.010.
55. Novoa NM, Rodríguez M, Gómez MT, Jiménez MF, Varela G. Fixed-altitude stair-climbing test replacing the conventional symptom-limited test. A pilot study. *Arch Bronconeumol* 2015; 51(6):268–72. doi: 10.1016/j.arbres.2014.09.012.
56. Koegelenberg CFN, Diacon AH, Irani S, Bolliger CT. Stair climbing in the functional assessment of lung resection candidates. *Respiration* 2008; 75(4):374–9. doi: 10.1159/000116873.
57. Bernasconi M, Koegelenberg CFN, Groote-Bidlingmaier F von, Maree D, Barnard BJ, Diacon AH et al. Speed of ascent during stair climbing identifies operable lung resection candidates. *Respiration* 2012; 84(2):117–22. doi: 10.1159/000337258.
58. Margaria R, Aghemo P, Rovelli E. Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J Appl Physiol* 1966; 21(5):1662–4. doi: 10.1152/jappl.1966.21.5.1662.
59. Teh KC, Aziz AR. A stair-climb test of cardiorespiratory fitness for Singapore. *Singapore Med J* 2000; 41(12):588–94.

60. Maly MR, Costigan PA, Olney SJ. Determinants of self-report outcome measures in people with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87(1):96–104. doi: 10.1016/j.apmr.2005.08.110.
61. Iijima H, Shimoura K, Eguchi R, Aoyama T, Takahashi M. Concurrent validity and measurement error of stair climb test in people with pre-radiographic to mild knee osteoarthritis. *Gait Posture* 2019; 68:335–9. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.12.014.
62. Kennedy DM, Stratford PW, Wessel J, Gollish JD, Penney D. Assessing stability and change of four performance measures: a longitudinal study evaluating outcome following total hip and knee arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord* 2005; 6:3. doi: 10.1186/1471-2474-6-3.
63. Pua Y-H, Clark RA, Bryant AL. Physical function in hip osteoarthritis: relationship to isometric knee extensor steadiness. *Arch Phys Med Rehabil* 2010; 91(7):1110–6. doi: 10.1016/j.apmr.2010.04.001.
64. Perron M, Malouin F, Moffet H. Assessing advanced locomotor recovery after total hip arthroplasty with the timed stair test. *Clin Rehabil* 2003; 17(7):780–6. doi: 10.1191/0269215503cr696oa.
65. Leitner M, Schmid S, Hilfiker R, Radlinger L. Test-retest reliability of vertical ground reaction forces during stair climbing in the elderly population. *Gait Posture* 2011; 34(3):421–5. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.06.014.
66. Brunelli A, Refai M, Xiumé F, Salati M, Marasco R, Sciarra V et al. Oxygen desaturation during maximal stair-climbing test and postoperative complications after major lung resections. *Eur J Cardiothorac Surg* 2008; 33(1):77–82. doi: 10.1016/j.ejcts.2007.09.028.
67. World Health Organization. Obesity and overweight; 2021 [Stand: 01.12.2023]. Verfügbar unter: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
68. Obesity: preventing and managing the global epidemic: Report of a WHO Consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser* 2000; 894:i-xii, 1-253.
69. Chooi YC, Ding C, Magkos F. The epidemiology of obesity. *Metabolism* 2019; 92:6–10. doi: 10.1016/j.metabol.2018.09.005.
70. Blüher M. Obesity: global epidemiology and pathogenesis. *Nat Rev Endocrinol* 2019; 15(5):288–98. doi: 10.1038/s41574-019-0176-8.
71. Ortega FB, Lavie CJ, Blair SN. Obesity and Cardiovascular Disease. *Circ Res* 2016; 118(11):1752–70. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.115.306883.

72. Biener A, Cawley J, Meyerhoefer C. The Impact of Obesity on Medical Care Costs and Labor Market Outcomes in the US. *Clin Chem* 2018; 64(1):108–17. doi: 10.1373/clinchem.2017.272450.
73. Farrell SW, Finley CE, Radford NB, Haskell WL. Cardiorespiratory fitness, body mass index, and heart failure mortality in men: Cooper Center Longitudinal Study. *Circ Heart Fail* 2013; 6(5):898–905. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.112.000088.
74. Poirier P, Alpert MA, Fleisher LA, Thompson PD, Sugerman HJ, Burke LE et al. Cardiovascular evaluation and management of severely obese patients undergoing surgery: a science advisory from the American Heart Association. *Circulation* 2009; 120(1):86–95. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192575.
75. McGee DL. Body mass index and mortality: a meta-analysis based on person-level data from twenty-six observational studies. *Ann Epidemiol* 2005; 15(2):87–97. doi: 10.1016/j.annepidem.2004.05.012.
76. Withrow D, Alter DA. The economic burden of obesity worldwide: a systematic review of the direct costs of obesity. *Obes Rev* 2011; 12(2):131–41. doi: 10.1111/j.1467-789X.2009.00712.x.
77. Tremmel M, Gerdtham U-G, Nilsson PM, Saha S. Economic Burden of Obesity: A Systematic Literature Review. *Int J Environ Res Public Health* 2017; 14(4). doi: 10.3390/ijerph14040435.
78. Sander B, Bergemann R. Economic burden of obesity and its complications in Germany. *Eur J Health Econ* 2003; 4(4):248–53. doi: 10.1007/s10198-003-0178-1.
79. Stevens J, Evenson KR, Thomas O, Cai J, Thomas R. Associations of fitness and fatness with mortality in Russian and American men in the lipids research clinics study. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2004; 28(11):1463–70. doi: 10.1038/sj.ijo.0802770.
80. Stevens J, Cai J, Evenson KR, Thomas R. Fitness and fatness as predictors of mortality from all causes and from cardiovascular disease in men and women in the lipid research clinics study. *Am J Epidemiol* 2002; 156(9):832–41. doi: 10.1093/aje/kwf114.
81. Pedersen BK. Body mass index-independent effect of fitness and physical activity for all-cause mortality. *Scand J Med Sci Sports* 2007; 17(3):196–204. doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00626.x.

82. Ortega FB, Ruiz JR, Labayen I, Lavie CJ, Blair SN. The Fat but Fit paradox: what we know and don't know about it. *Br J Sports Med* 2018; 52(3):151–3. doi: 10.1136/bjsports-2016-097400.
83. Farrell SW, Fitzgerald SJ, McAuley PA, Barlow CE. Cardiorespiratory Fitness, Adiposity, and All-Cause Mortality in Women. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42(11):2006–12. Verfügbar unter: https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2010/11000/Cardiorespiratory_Fitness,_Adiposity,_and.5.aspx.
84. Lee D-C, Sui X, Church TS, Lavie CJ, Jackson AS, Blair SN. Changes in fitness and fatness on the development of cardiovascular disease risk factors hypertension, metabolic syndrome, and hypercholesterolemia. *J Am Coll Cardiol* 2012; 59(7):665–72. doi: 10.1016/j.jacc.2011.11.013.
85. Lee DC, Sui X, Blair SN. Does physical activity ameliorate the health hazards of obesity? *Br J Sports Med* 2009; 43(1):49–51. doi: 10.1136/bjism.2008.054536.
86. Fransson EIM, Alfredsson LS, Faire UH de, Knutsson A, Westerholm PJM. Leisure time, occupational and household physical activity, and risk factors for cardiovascular disease in working men and women: the WOLF study. *Scand J Public Health* 2003; 31(5):324–33. doi: 10.1080/14034940210165055.
87. Ricketts TA, Sui X, Lavie CJ, Blair SN, Ross R. Addition of Cardiorespiratory Fitness Within an Obesity Risk Classification Model Identifies Men at Increased Risk of All-Cause Mortality. *Am J Med* 2016; 129(5):536.e13-20. doi: 10.1016/j.amjmed.2015.11.015.
88. Kaminsky LA, Arena R, Myers J. Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: Data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clin Proc* 2015; 90(11):1515–23. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.07.026.
89. Lorenzo S, Babb TG. Quantification of cardiorespiratory fitness in healthy nonobese and obese men and women. *Chest* 2012; 141(4):1031–9. doi: 10.1378/chest.11-1147.
90. Zeiher J, Ombrellaro KJ, Perumal N, Keil T, Mensink GBM, Finger JD. Correlates and Determinants of Cardiorespiratory Fitness in Adults: a Systematic Review. *Sports Med Open* 2019; 5(1):39. doi: 10.1186/s40798-019-0211-2.
91. Fogelholm M, Malmberg J, Suni J, Santtila M, Kyröläinen H, Mäntysaari M. Waist circumference and BMI are independently associated with the

- variation of cardio-respiratory and neuromuscular fitness in young adult men. *Int J Obes (Lond)* 2006; 30(6):962–9. doi: 10.1038/sj.ijo.0803243.
92. Krachler B, Savonen K, Komulainen P, Hassinen M, Lakka TA, Rauramaa R. Cardiopulmonary fitness is a function of lean mass, not total body weight: The DR's EXTRA study. *Eur J Prev Cardiol* 2015; 22(9):1171–9. doi: 10.1177/2047487314557962.
93. Vsetulová E, Bunc V. Vliv tělesného složení na fyzickou výkonnost a funkční kapacitu obézních žen. *Cas Lek Cesk* 2004; 143(11):756-760; discussion 760-761.
94. Goran M, Fields DA, Hunter GR, Herd SL, Weinsier RL. Total body fat does not influence maximal aerobic capacity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000; 24(7):841–8. doi: 10.1038/sj.ijo.0801241.
95. Yanek LR, Vaidya D, Kral BG, Dobrosielski DA, Moy TF, Stewart KJ et al. Lean Mass and Fat Mass as Contributors to Physical Fitness in an Overweight and Obese African American Population. *Ethn Dis* 2015; 25(2):214–9. Verfügbar unter: <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.emedien.ub.uni-muenchen.de/26118151/>.
96. Savonen K, Krachler B, Hassinen M, Komulainen P, Kiviniemi V, Lakka TA et al. The current standard measure of cardiorespiratory fitness introduces confounding by body mass: the DR's EXTRA study. *Int J Obes (Lond)* 2012; 36(8):1135–40. doi: 10.1038/ijo.2011.212.
97. Troosters T, Gosselink R, Decramer M. Six minute walking distance in healthy elderly subjects. *Eur Respir J* 1999; 14(2):270–4. doi: 10.1034/j.1399-3003.1999.14b06.x.
98. Joobeur S, Rouatbi S, Latiri I, Sfaxi R, Ben Saad H. Influencing factors of the 6-min walk distance in adult Arab populations: a literature review. *Tunis Med* 2016; 94(5):339–48.
99. Capodaglio P, Souza SA de, Parisio C, Precilios H, Vismara L, Cimolin V et al. Reference values for the 6-Min Walking Test in obese subjects. *Disabil Rehabil* 2013; 35(14):1199–203. doi: 10.3109/09638288.2012.726313.
100. Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158(5 Pt 1):1384–7. doi: 10.1164/ajrccm.158.5.9710086.
101. Kitagawa K, Suzuki M, Miyashita M. Anaerobic power output of young obese men: comparison with non-obese men and the role of excess fat. *Eur*

- J Appl Physiol Occup Physiol 1980; 43(3):229–34. doi: 10.1007/BF00421836.
102. Lafortuna CL, Fumagalli E, Vangeli V, Sartorio A. Lower limb alactic anaerobic power output assessed with different techniques in morbid obesity. *Journal of Endocrinological Investigation* 2002; 25(2):134–41. doi: 10.1007/BF03343977.
103. Nedeljkovic A, Mirkov DM, Pazin N, Jaric S. Evaluation of Margaria staircase test: the effect of body size. *European Journal of Applied Physiology* 2007; 100(1):115–20. doi: 10.1007/s00421-007-0401-3.
104. Nedeljkovic A, Mirkov DM, Bozic P, Jaric S. Tests of muscle power output: the role of body size. *Int J Sports Med* 2009; 30(2):100–6. doi: 10.1055/s-2008-1038886.
105. Sartorio A, Proietti M, Marinone PG, Agosti F, Adorni F, Lafortuna CL. Influence of gender, age and BMI on lower limb muscular power output in a large population of obese men and women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2004; 28(1):91–8. doi: 10.1038/sj.ijo.0802433.
106. Caiozzo VJ, Kyle CR. The effect of external loading upon power output in stair climbing. *European Journal of Applied Physiology* 1980; 44(3):217–22. doi: 10.1007/BF00421620.
107. Kyle CR, Caiozzo VJ. A comparison of the effect of external loading upon power output in stair climbing and running up a ramp. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1985; 54(1):99–103. doi: 10.1007/BF00426307.
108. Du Bois D, Du Bois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. 1916. *Nutrition* 1989; 5(5):303-311; discussion 312-313.
109. Dubowy K-O, Baden W, Bernitzki S, Peters B. A practical and transferable new protocol for treadmill testing of children and adults. *Cardiol Young* 2008; 18(6):615–23. doi: 10.1017/S1047951108003181.
110. Baden W, Hager A, Lammers A. Positionspapier zum 6-Minuten Gehstest der Arbeitsgruppe Belastungsuntersuchungen der DGPK; 2018.
111. Holland AE, Spruit MA, Troosters T, Puhan MA, Pepin V, Saey D et al. An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease. *Eur Respir J* 2014; 44(6):1428–46. doi: 10.1183/09031936.00150314.
112. Borg G. Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt* 2004; 101(15):1016–21.

113. Borg GAV. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14(5):377–81.
114. Lawrenz W, Dubowy K-O, Baden W, Hager A. Ergometrie und Spiroergometrie bei Kindern und Jugendlichen; Positionspapier: Deutsche Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie; 2019.
115. Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* 1957; 35(3):307–15.
116. Evans JD. Straightforward statistics for the behavioral sciences: Thomson Brooks/Cole Publishing Co; 1996.
117. Rothman KJ. BMI-related errors in the measurement of obesity. *Int J Obes (Lond)* 2008; 32 Suppl 3:S56-S59. doi: 10.1038/ijo.2008.87.
118. Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens AL, Muls E. Exercise capacity in lean versus obese women. *Scand J Med Sci Sports* 2001; 11(5):305–9. doi: 10.1034/j.1600-0838.2001.110509.x.
119. Gerhart HD, Pressl R, Storti KL, Bayles MP, Seo Y. The effects of a loaded rucksack and weighted vest on metabolic cost and stride frequency in female adults. *Ergonomics* 2020; 63(2):145–51. doi: 10.1080/00140139.2019.1710266.
120. Louhevaara V, Ilmarinen R, Griefahn B, Künemund C, Mäkinen H. Maximal physical work performance with European standard based fire-protective clothing system and equipment in relation to individual characteristics. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995; 71(2-3):223–9. doi: 10.1007/BF00854982.
121. Phillips DB, Stickland MK, Lesser IA, Petersen SR. The effects of heavy load carriage on physiological responses to graded exercise. *European Journal of Applied Physiology* 2016; 116(2):275–80. doi: 10.1007/s00421-015-3280-z.
122. Williams C. Cardiopulmonary exercise testing. *Br J Hosp Med (Lond)* 2018; 79(4):238. doi: 10.12968/hmed.2018.79.4.238.
123. Herdy AH, Ritt LEF, Stein R, Araújo, Claudio Gil Soares de, Milani M, Meneghelo RS et al. Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation. *Arq Bras Cardiol* 2016; 107(5):467–81. doi: 10.5935/abc.20160171.
124. Ofir D, Laveneziana P, Webb KA, O'Donnell DE. Ventilatory and perceptual responses to cycle exercise in obese women. *J Appl Physiol* (1985) 2007; 102(6):2217–26. doi: 10.1152/jappphysiol.00898.2006.

125. Farrell PA, Gustafson AB, Kalkhoff RK. Assessment of methods for assigning treadmill exercise workloads for lean and obese women. *Int J Obes* 1985; 9(1):49–58.
126. Buskirk E, Taylor HL. Maximal oxygen intake and its relation to body composition, with special reference to chronic physical activity and obesity. *J Appl Physiol* 1957; 11(1):72–8. doi: 10.1152/jappl.1957.11.1.72.
127. Tallis J, James RS, Seebacher F. The effects of obesity on skeletal muscle contractile function. *J Exp Biol* 2018; 221(Pt 13). doi: 10.1242/jeb.163840.
128. Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens AL, Muls E, Brumagne S. Study of differences in peripheral muscle strength of lean versus obese women: an allometric approach. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001; 25(5):676–81. doi: 10.1038/sj.ijo.0801560.
129. Arcuri JF, Borghi-Silva A, Labadessa IG, Sentanin AC, Candolo C, Pires Di Lorenzo, Valéria A. Validity and Reliability of the 6-Minute Step Test in Healthy Individuals: A Cross-sectional Study. *Clin J Sport Med* 2016; 26(1):69–75. doi: 10.1097/JSM.0000000000000190.
130. Morinder G, Mattsson E, Sollander C, Marcus C, Larsson UE. Six-minute walk test in obese children and adolescents: reproducibility and validity. *Physiother Res Int* 2009; 14(2):91–104. doi: 10.1002/pri.428.
131. Nasuti G, Stuart-Hill L, Temple VA. The Six-Minute Walk Test for adults with intellectual disability: a study of validity and reliability. *J Intellect Dev Disabil* 2013; 38(1):31–8. doi: 10.3109/13668250.2012.748885.
132. Li AM, Yin J, Yu CCW, Tsang T, So HK, Wong E et al. The six-minute walk test in healthy children: reliability and validity. *Eur Respir J* 2005; 25(6):1057–60. doi: 10.1183/09031936.05.00134904.
133. Uhl M. Beurteilung der körperlichen Belastbarkeit mittels Treppensteigttest im Vergleich zur Spiroergometrie und zum 6 Minuten Gehetest: Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin; voraussichtlich 2024.
134. Nazari G, MacDermid JC, Sinden KE, Overend TJ. The Relationship between Physical Fitness and Simulated Firefighting Task Performance. *Rehabil Res Pract* 2018; 2018. doi: 10.1155/2018/3234176.
135. Hulens M, Vansant G, Claessens AL, Lysens R, Muls E. Predictors of 6-minute walk test results in lean, obese and morbidly obese women. *Scand J*

- Med Sci Sports 2003; 13(2):98–105. doi: 10.1034/j.1600-0838.2003.10273.x.
136. Hill K, Wickerson LM, Woon LJ, Abady AH, Overend TJ, Goldstein RS et al. The 6-min walk test: responses in healthy Canadians aged 45 to 85 years. *Appl Physiol Nutr Metab* 2011; 36(5):643–9. doi: 10.1139/h11-075.
137. Larsson UE, Reynisdottir S. The six-minute walk test in outpatients with obesity: reproducibility and known group validity. *Physiother Res Int* 2008; 13(2):84–93. doi: 10.1002/pri.398.
138. Andersson E, Nilsson J. Can a six-minute shuttle walk test predict maximal oxygen uptake? *Gazzetta Medica Italiana* 2011; 170(3):163–70.
139. Di Thommazo-Luporini L, Carvalho LP, Luporini RL, Trimer R, Pantoni CBF, Martinez AF et al. Are cardiovascular and metabolic responses to field walking tests interchangeable and obesity-dependent? *Disabil Rehabil* 2016; 38(18):1820–9. doi: 10.3109/09638288.2015.1107645.
140. Evans RA, Dolmage TE, Robles PG, Goldstein RS, Brooks D. Do field walking tests produce similar cardiopulmonary demands to an incremental treadmill test in obese individuals with treated OSA? *Chest* 2014; 146(1):81–7. doi: 10.1378/chest.13-2060.
141. Šagát P, Kalčík Z, Bartík P, Šiška L, Štefan L. A Simple Equation to Estimate Maximal Oxygen Uptake in Older Adults Using the 6 min Walk Test, Sex, Age and Body Mass Index. *J Clin Med* 2023; 12(13). doi: 10.3390/jcm12134476.
142. Ben-Ezra V, Verstraete R. Stair climbing: an alternative exercise modality for firefighters. *J Occup Med* 1988; 30(2):103–5.
143. Siddall AG, Stevenson RDM, Turner PFJ, Stokes KA, Bilzon JLJ. Development of role-related minimum cardiorespiratory fitness standards for firefighters and commanders. *Ergonomics* 2016; 59(10):1335–43. doi: 10.1080/00140139.2015.1135997.

Anhang A: Ethikantrag



Ethikkommission · Pettenkoferstr. 8 · 80336 München

Dr. med. Simone Katrin Dold

Klinik für Kinderkardiologie und pädiatrische Intensivmedizin

Marchioninstr. 15

81377 München

Vorsitzender:

Prof. Dr. W. Eisenmenger

Telefon+49 (0)89 440055191

Telefax+49 (0)89 440055192

Ethikkommission@

med.uni-muenchen.de

[www.ethikkommission.med.uni-](http://www.ethikkommission.med.uni-muenchen.de)

[muenchen.de](http://www.ethikkommission.med.uni-muenchen.de)

Anschrift:

Pettenkoferstr. 8a

D-80336 München

09.04.2021/Hb/sh

Projekt Nr: **21-0151** (bitte bei Schriftwechsel angeben)

Beratung nach Fakultätsrecht

Studientitel: Stairway to heaven

Antragsteller: Dr. med. Simone Katrin Dold, Klinik für Kinderkardiologie und pädiatrische Intensivmedizin, Marchioninstr. 15; 81377 München,

Untersucher: Dr. med. Simone Katrin Dold, Klinikum der Universität München, Klinik und Poliklinik für Kinderkardiologie, Klinikum Großhadern, 81377 München

Sehr geehrte Frau Dr. med. Dold,

besten Dank für Ihr Schreiben vom 22.03.2021 mit der Beantwortung unserer Fragen bzw. Erfüllung der Auflagen und den noch ausstehenden bzw. überarbeiteten Unterlagen.

Die Ethikkommission (EK) kann Ihrer Studie nun die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit zuerkennen.

Vorsorglich möchte ich darauf hinweisen, dass auch bei einer positiven Beurteilung des Vorhabens durch die EK die ärztliche und juristische Verantwortung für die Durchführung des Projektes uneingeschränkt bei Ihnen und Ihren Mitarbeitern verbleibt.

Allgemeine Hinweise:

- Änderungen im Verlauf der Studie sind der EK zur erneuten Prüfung vorzulegen.
- Schwerwiegende unerwartete studienabhängige Ereignisse sind der EK mitzuteilen (trifft nur für interventionelle Projekte zu).
- Das Ende der Studie ist anzuzeigen und das Ergebnis vorzulegen.
- Die ärztliche und juristische Verantwortung bei der Durchführung der Studie verbleibt uneingeschränkt bei Ihnen und Ihren Mitarbeitern. Bitte berücksichtigen Sie, dass diese Bewertung die ggf. erforderliche Konsultation des behördlichen Datenschutzbeauftragten nach Art. 30 DSGVO nicht ersetzt.

Mitglieder der Kommission:

Prof. Dr. W. Eisenmenger (Vorsitzender), Prof. Dr. R. M. Huber (stellv. Vorsitzender), Prof. Dr. C. Wendtner (stellv. Vorsitzender), Prof. Dr. H. Angstwurm, Dr. G. Aitzel, Prof. Dr. S. Böck, J. Eckert, Prof. Dr. B. Emmerich, Prof. Dr. S. Endres, Prof. Dr. R. Fischer, Prof. Dr. R. Gärtner, Prof. Dr. O. Genzel-Boroviczeny, Prof. Dr. K. Hahn, Prof. Dr. N. Harbeck, Dr. B. Henrikus, Prof. Dr. C. Heumann, Prof. Dr. R. Hohlfeld, Prof. Dr. A. Holstege, Prof. Dr. V. Klauß, Dr. F. Köhlmayer, Dr. K. Köhlmayer, Prof. Dr. J. Lindner, Prof. Dr. S. Lorenzl, Prof. Dr. U. Mansmann, Prof. Dr. G. Marckmann, Dr. V. Mönch, Prof. Dr. H. Mudra, Prof. Dr. R. Penning, Prof. Dr. J. Peters, Prof. Dr. K. Pfeifer, Dr. R. Ratzel, Prof. Dr. H. Schardey, Prof. Dr. M. Schmauss, Prof. Dr. U. Schroth, Prof. Dr. O. Steinlein, PD Dr. G. Stüben, Dr. B. Vogl, Prof. Dr. H. Waldner, PD Dr. U. Wandl, Prof. Dr. M. Wörzle, Dr. A. Yassouridis, Dr. C. Zach

21-0151

SEITE 2 VON 2

- Die Ethikkommission erklärt, dass an der Bewertung des vorliegenden Antrags niemand beteiligt war, der gemäß Bayerischem Verwaltungsverfahrensgesetz (BayVwVfG) Art. 20 als befangen anzusehen ist.

Für Ihre Studie wünsche ich Ihnen viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen

A black oval redaction box covering the signature of Prof. Dr. W. Eisenmenger.

Prof. Dr. W. Eisenmenger
Vorsitzender der Ethikkommission

Anhang B: Anamnesebogen

Probandennummer.: 0090000 _____

Anamnesebogen

Datum: _____

 Corona-Schnelltest: Tag 1: negativ positiv
 Tag 2: negativ positiv

Biometrische Daten

 Geschlecht: männlich weiblich Herkunft: _____

Alter: _____ Jahrgang: _____

 Größe: _____ m Gewicht: _____ kg → BMI: _____ kg/m²

Beinlänge: _____ cm → KOF: _____

Hüftumfang: _____ cm Taille: _____ cm → Waist-Hip-Ratio: _____

Vitalparameter (Ruhewert)

 Herzfrequenz: _____ min⁻¹ Blutdruck: _____ / _____ mmHg

 Atemfrequenz: _____ min⁻¹ SpO₂: _____ %

Körperliche Fitness

Sport pro Woche: _____

Stunden Sport pro Woche: _____

 Welche Sportart: _____ Ausdauer Kraftsport

 Beruf: _____ sitzend aktiv

Allgemeine Anamnese

Erkrankung	Ja	Nein	Bemerkung
Atemwegserkrankung (Bsp. Asthma, COPD)			
Husten, Auswurf, Dyspnoe			
Kardiovaskuläre Erkrankungen (Bsp. Arrhythmie, Hypertonus, Herzinsuffizienz)			NYHA-Klassifikation: _____
Angina Pectoris Beschwerden, Schwindel, Nykturie, Ödeme, Plötzlicher Herztod in der Familie			
Stoffwechselerkrankung (Bsp. Schilddrüsenerkrankung, Diabetes mellitus)			
Erkrankung der Niere oder Urogenitaltrakt			
Miktionsfrequenz, -beschwerden, Kontinenz			
Erkrankungen des Magen-Darm-Trakts und der Leber			

Probandennummer.: 0090000 _____

Übelkeit, Erbrechen, Sodbrennen, Bauchschmerzen, Stuhlfrequenz, Stuhlbeschaffenheit			
Erkrankungen des Nervensystems			
Psychische Erkrankungen			
Erkrankungen des Muskuloskelettales Systems			
Regelmäßiger Drogenkonsum (inkl. Alkohol, Nikotin)			
Regelmäßige Medikamenteneinnahme			
Schwangerschaft			

Körperliche Untersuchung**Atmungssystem**

- Auskultation: vesikuläres Atemgeräusch
 Pulmo frei
 RGs
 Stridor: inspiratorisch expiratorisch
- Dyspnoe: ja nein ohne Hinweis

Bemerkung: _____

Kardiovaskuläres System

- Auskultation: Herztöne rein
 Herztöne rhythmisch
 Herzgeräusche: Systolikum Diastolikum
- Halsvenenstauung: ja nein

Pulsstatus	Rechts	Links	Strömungsgeräusch
A.carotis			
A.radialis			-
A.brachialis			-
A.femoralis			-
A.tibialis posterior			-
A.dorsalis pedis			-

++ gut tastbar, + schwach tastbar, - nicht tastbar

Bemerkung: _____

Probandennummer.: 0090000_____

Abdomen

Auskultation: Darmgeräusche

Palpation: Abdomen weich
 schmerzlos
 Druckschmerz
 Hepatosplenomegalie
 Abwehrspannung

Nierenklopfeschmerz: ja nein

Bemerkung: _____

Befunde

- EKG-Befund vorhanden (*4*2,5s 50mm/s; 12 Rhythmus 50mm*)

Herzintervalle in der Norm: ja nein

Sinusrhythmus: ja nein

Extrasystolen: ja nein

Erregungsrückbildungsstörungen: ja nein

Leitungsverzögerung: ja nein

→Normalbefund: ja nein

- Echokardiographie-Befund vorhanden auffällig unauffällig

LV Funktion: FS: _____%

EF: _____%

LVIDd: _____cm

IVSd: _____cm

Aortales VTi: _____

Zeichen für erhöhten RVP: rechtsventrikuläre Druckerhöhung

Abgeflachtes Septum

RV vergrößert

Trikuspidalinsuffizienz

Besonderheiten: _____

Dokumente

- Aufklärung erfolgt
 Probandeninformation und Datenschutzerklärung unterschrieben

Gutschein: Buch Sport erhalten am: _____

Anhang C: Testprotokoll

Testprotokolle Tag 1

- Doktorarbeit Melina Uhl und Katharina Huber -

Probandennummer: _____

Datum: _____

Anamnesebogen und Datenschutz ausgefüllt: Ja

Maßnahmen vor Testbeginn:

1. Maße:

- Geschlecht: weiblich männlich
- Gewicht: _____ kg
- Länge: _____ cm
- BMI: _____ Kg/m²
- KOF: _____ m²
- Körpermaße:
 - Hüfte: _____ cm
 - Taille: _____ cm
 - Waist-Hip-Ratio: _____ cm

2. Vitalparameter:

- RR Arm rechts: _____ / _____ (_____)
- Ruheherzfrequenz: _____ /min
- Atemfrequenz: _____ /min

3. EKG: Normalbefund; Besonderheiten: _____

4. ECHO: Normalbefund; Besonderheiten: _____

5. WHO/NYHA-Klassifikation: I II III IV

6-Minuten Gehstest:

- Beginn (Uhrzeit): _____
- Distanz: _____ m

Subjektives Belastungsempfinden vor und nach dem 6 Minuten Gehtests anhand der Borg Skala:

- Borg Skala vor der Belastung: _____
- Borg Skala nach der Belastung: _____
- Borg-CR-Skala vor der Belastung: _____
- Borg-CR-Skala nach der Belastung: _____

6	überhaupt keine Anstrengung
7	
8	extrem locker
9	
10	sehr locker
11	Locker
12	
13	ein wenig anstrengend
14	
15	Anstrengend
16	
17	sehr anstrengend
18	
19	extrem anstrengend

0	überhaupt keine Atemnot
0,5	Sehr, sehr milde (knapp wahrnehmbar)
1	Sehr milde
2	milde
3	mäßig
4	
5	schwer
6	
7	Sehr schwer
8	
9	
10	Maximale Atemnot

Stair Climbing Test (SCT):

1. SCT: Eine Etage hoch (und runter), normale Geschwindigkeit:

- Beginn (Uhrzeit): _____; Ende (Uhrzeit): _____; gestoppte Zeit: _____ s
- Anlage Langzeit-EKG
 - VP vor Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - VP nach Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - RR vor Belastung: _____ / _____
 - RR nach Belastung: _____ / _____
 - Sättigung vor Belastung: _____
 - Sättigung nach Belastung: _____

2. SCT: Eine Etage hoch (und runter), so schnell wie möglich:

- Beginn (Uhrzeit): _____; Ende (Uhrzeit): _____; gestoppte Zeit: _____ s
- Anlage Langzeit-EKG
 - VP vor Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - VP nach Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - RR nach Belastung: _____ / _____
 - Sättigung vor Belastung: _____
 - Sättigung nach Belastung: _____

3. SCT: Zwei Etagen hoch (und runter), normale Geschwindigkeit:

- Beginn (Uhrzeit): _____; Ende (Uhrzeit): _____; gestoppte Zeit: _____ s
- Anlage Langzeit-EKG
 - VP vor Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - VP nach Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - RR nach Belastung: _____ / _____
 - Sättigung vor Belastung: _____
 - Sättigung nach Belastung: _____

4. SCT: Zwei Etagen hoch (und runter), so schnell wie möglich:

- Beginn (Uhrzeit): _____; Ende (Uhrzeit): _____; gestoppte Zeit: _____ s
- Anlage Langzeit-EKG
 - VP vor Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - VP nach Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - RR nach Belastung: _____ / _____
 - Sättigung vor Belastung: _____
 - Sättigung nach Belastung: _____

5. SCT: Vier Etagen hoch (und runter), normale Geschwindigkeit:

- Beginn (Uhrzeit): _____; Ende (Uhrzeit): _____; gestoppte Zeit: _____ s
- Anlage Langzeit-EKG
 - VP vor Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - VP nach Belastung: _____ HF: _____; AF: _____
 - RR nach Belastung: _____ / _____
 - Sättigung vor Belastung: _____
 - Sättigung nach Belastung: _____

6. SCT: Vier Etagen hoch (und runter), so schnell wie möglich:

- Beginn (Uhrzeit): _____; Ende (Uhrzeit): _____; gestoppte Zeit: _____ s
- Anlage Langzeit-EKG
 - VP vor Belastung: HF: _____; AF: _____
 - VP nach Belastung: HF: _____; AF: _____
 - RR nach Belastung: _____ / _____
 - Sättigung vor Belastung: _____
 - Sättigung nach Belastung: _____
- SCT:
 - Treppenstufenhöhe: 18cm (Standardmaß)
 - Treppenstufen/Etage: _____ Stufen
- Subjektive Beschwerden während des SCT: _____

Subjektives Belastungsempfinden vor und nach dem SCT anhand der Borg Skala:

- Borg Skala vor der Belastung: _____
- Borg Skala nach der Belastung: _____
- Borg-CR-Skala vor der Belastung: _____
- Borg-CR-Skala nach der Belastung: _____

6	überhaupt keine Anstrengung
7	
8	extrem locker
9	
10	sehr locker
11	Locker
12	
13	ein wenig anstrengend
14	
15	Anstrengend
16	
17	sehr anstrengend
18	
19	extrem anstrengend
20	Maximale Anstrengung

0	überhaupt keine Atemnot
0,5	Sehr, sehr milde (knapp wahrnehmbar)
1	Sehr milde
2	milde
3	mäßig
4	
5	schwer
6	
7	Sehr schwer
8	
9	
10	Maximale Atemnot

Spiroergometrie:

- Ergebnis
 - _____ V Max (km/h)
 - _____ VO₂ Max (l/min)
 - _____ Puls Max (bpm)
 - Erreichte Stufe: _____
 - RR nach Belastungsende: _____ / _____

Subjektives Belastungsempfinden vor und nach der Spiroergometrie anhand der Borg Skala:

- Borg Skala vor der Belastung: _____
- Borg Skala nach der Belastung: _____
- Borg-CR-Skala vor der Belastung: _____
- Borg-CR-Skala nach der Belastung: _____

6	überhaupt keine Anstrengung
7	
8	extrem locker
9	
10	sehr locker
11	Locker
12	
13	ein wenig anstrengend
14	
15	Anstrengend
16	
17	sehr anstrengend
18	
19	extrem anstrengend
20	Maximale Anstrengung

0	überhaupt keine Atemnot
0,5	Sehr, sehr milde (knapp wahrnehmbar)
1	Sehr milde
2	milde
3	mäßig
4	
5	schwer
6	
7	Sehr schwer
8	
9	
10	Maximale Atemnot

Anhang D: 6-Minuten Gehstest Protokoll

	KLINIKUM DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN	CAMPUS GROßHADERN ABTEILUNG FÜR KINDERKARDIOLOGIE UND PÄDIATRISCHE INTENSIVMEDIZIN Prof. Dr. med. N. Haas	
<small>Klinikum der Universität München, Kinderkardiologie und Pädiatrische Intensivmedizin Marchioninstr. 15, 81377 München</small>		<small>Telefon +49 (0)89 4400 – 72493 Fax 4400 - 72495</small>	
Patientenaufkleber		<small>www.klinikum.uni-muenchen.de www.kinderkardiologie-muenchen.de</small>	
		<small>Postanschrift: Marchioninstr. 15 D-81377 München</small>	
Ihr Zeichen:	Unser Zeichen:	München, 3/2018 Fischer	

6-Minuten-Gehstest am: _____

	Zu Beginn	Am Ende
Blutdruck		
Herzfrequenz		
Sauerstoffsättigung		

Erreichte Gehstrecke: _____ Meter.

Bemerkungen: _____

Untersucher:

Durchführungshinweise:

Keine starke körperliche Belastung (z.B. Spiroergometrie) innerhalb der letzten 2 Stunden). Gehhilfen, die auch im alltäglichen Leben benutzt werden, sollen auch während des Tests verwendet werden. Probanden mit kontinuierlicher Sauerstofftherapie, sollten auch während des Tests eine Sauerstoffzufuhr erhalten.

Ruhephase:

Der Proband sitzt zunächst 5 Minuten auf einem Stuhl in der Nähe des Startpunktes. Keine Aufwärmübungen. Während der Ruhephase soll überprüft werden, ob der Proband angemessene Kleidung trägt. Zudem sollen systolischer und diastolischer Blutdruck sowie die Herzfrequenz nach Ablauf der Ruhephase gemessen werden (vorzugsweise am linken Arm).

Beginn des Tests:

Der Proband wird instruiert, dass er 6 Minuten so schnell, wie ihm möglich ist, zwischen den beiden Markierungen hin und her gehen soll. Wenn er außer Atem kommt, darf er langsamer gehen, anhalten und sich ggf. gegen die Wand lehnen. Er sollte weitergehen, so bald es ihm wieder möglich ist. Es soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Aufgabe darin besteht, so schnell wie möglich zu gehen, aber weder gelaufen noch gejoggt werden soll und dass er während des Test nicht sprechen oder sich ablenken lassen soll. Der Patient wird zum Startpunkt geführt. Sobald der Patient zu gehen begonnen hat, wird die Stoppuhr gestartet. Der Patient wird während des Gehens nicht begleitet, bei Sturzgefahr kann man hinter dem Patienten folgen. Jede Minute wird der Patient ermuntert, und es wird ihm die verbleibende Zeit angesagt.

Quelle: DZHK SOP; ATS Guideline Am J Respir Crit Care Med Vol 166 pp 111-117, 2002



Einheitliche Testanweisungen:

„Sie sollen bei diesem Test innerhalb 6 Minuten so weit wie möglich gehen. Sie gehen auf diesem Gang vor und zurück. 6 Minuten sind lange, sie können Ihre Gehgeschwindigkeit selbst bestimmen. Wenn sie außer Atem kommen oder erschöpft sind, dürfen Sie langsamer werden oder stehen bleiben. Sie dürfen sich gegen die Wand lehnen, sollen aber weiterlaufen, sobald sie sich dazu wieder in der Lage fühlen.

Sie gehen auf dem Gang vor und zurück. Sie sollen rasch um die Hütchen wenden und sofort wieder weitergehen. Ich zeige es Ihnen einmal.“

Nach einmaliger Demonstration (einmal die Strecke vor- und zurücklaufen

„Sind Sie bereit? Ich zähle die Anzahl der Bahnen. Und denken Sie daran, Sie sollen SO WEIT WIE MÖGLICH in 6 Minuten gehen, nicht laufen, nicht rennen.“

Jede Minute wird der Proband (mit normalem Tonfall) motiviert:

„Sehr gut, Sie haben noch ... Minuten.“ oder im Wechsel
 „Weiter so, Sie haben noch ... Minuten.“

*Sonst keine zusätzlichen Worte oder Gesten zur Motivation!
 Wenn der Patient stehen bleibt:*

„Sie können sich gegen die Wand lehnen, wenn Sie wollen. Aber gehen Sie weiter, sobald Sie wieder können.“

15 Sekunden vor Ablauf der Zeit:

„In Kürze werde ich Sie auffordern stehen zu bleiben. Ich komme dann zu Ihnen“

Gerade in der Anwendung des 6MGTs bei Kindern jüngeren Alters kann es nötig werden, darüber hinaus noch weitere Instruktionen, Korrekturen oder Zwischenzeitansagen zu geben, damit das Kind den Test komplettiert und ein aussagekräftiges Testergebnis erreicht wird.

Anweisungen und Kommentare des Untersuchers sollten möglichst neutral gehalten sein und nicht darauf abzielen, das Kind in seiner natürlichen Gehgeschwindigkeit zu beeinflussen. Praktikabel ist der Test ab dem Vorschulalter.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Menschen bedanken, die mich in der Zeit der Erstellung dieser Dissertation begleitet und unterstützt haben.

Zuerst möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Nikolaus Haas für die Überlassung des Themas und den stetigen Beistand mit konstruktiver und wertvoller Kritik danken.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei Frau Dr. med. Simone Kathrin Dold für die herausragende Betreuung und Unterstützung bedanken. Liebe Simone, vielen Dank für deine unermüdliche Art Dinge voranzubringen, deine konstruktive Kritik, dein offenes Ohr und deine Lebensfreude, die mir an viele anstrengende Tage ein Lächeln ins Gesicht gezaubert hat. Ich hätte mir keine bessere Betreuerin für meine Doktorarbeit vorstellen können. Ich danke dir für die viele Zeit und Geduld, die du investiert hast, damit diese Arbeit entstehen konnte.

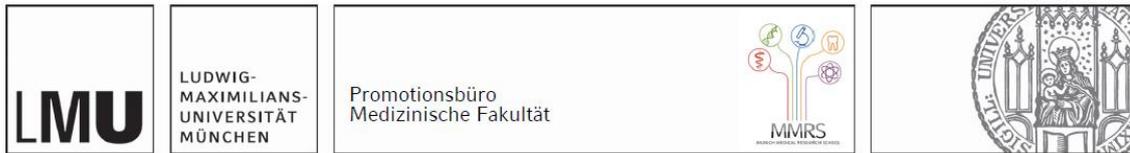
Ein großes Dankeschön geht an die Sekretärinnen, Mitarbeiter*innen und Pflegekräfte der Kinderkardiologischen Ambulanz. Danke für den reibungslosen organisatorischen Ablauf und die tatkräftige Unterstützung. Besonderer Dank gilt hier Frau Waltraud Koll, die mich geduldig in den Untersuchungsablauf der Spiroergometrie eingearbeitet hat und bei technischen Schwierigkeiten immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Ebenso möchte ich Frau Leonie Arnold für Ihre Geduld bei den statistischen und formalen Fragen danken.

Vielen Dank an alle Proband*innen, die bei dieser Studie mitgewirkt haben.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden bedanken, die mich während dieser Zeit unterstützt und bestärkt haben. Besonders dankbar bin ich meiner Mutter für ihren Beistand und die Ermutigung meine Ziele zu erreichen, sei es im Studium oder darüber hinaus. Ich bin sehr glücklich eine so herausragende Frau als Mutter und Vorbild zu haben.

Herzlichen Dank an alle, ohne die diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Affidavit



Eidesstattliche Versicherung

Huber, Katharina Veronika

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

Evaluation eines einfachen Belastungstests mittels Treppensteigens zur Bewertung der körperlichen Leistungsfähigkeit von adipösen Probanden im Vergleich zu Probanden mit künstlichem Mehrgewicht

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Tegernsee, 17.10.24

Ort, Datum

Katharina Veronika Huber

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand

Publikationsliste

DGPK 2023

Uhl, M.; Huber, K.V.; Haas, N.A.; Dold, S.K. Stairway to Heaven: Evaluation of Cardiorespiratory Fitness with a Simple Standardized Stair Climbing Test in Comparison to Standard Treadmill Cardiopulmonary Exercise Testing and 6-Minute Walking Test. *Thorac. Cardiovasc. Surg.* **2023**, *71*, S73–S106. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1761891>

DGPK 2024

Lentz, A.; Mall, M.; Huber, K.V.; Wander, J.; Schonath, L.; Uhl, M.; Haas, N.; Dold, S.K. Evaluation of Cardiorespiratory Fitness with a Simple Standardized Star Climbing Test in Comparison to Standard Treadmill Cardiopulmonary Exercise Testing (CPET) and 6-Minute Walking Test. *Thorac. Cardiovasc. Surg.* **2024**, *72* (S 02), S69–S96. DOI: 10.1055/s-0044-1780718