

Aus der Abteilung für Kardiologie
der Universitäts-Kinder- und Jugendklinik Rostock

Ehem. Direktor: Prof. Dr. med. W. Kienast

Der Sechs-Minuten-Gehtest
zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit
von Kindern und Jugendlichen mit pulmonaler Hypertension

Inauguraldissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin
der medizinischen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von
Anne Babett Nissel
geb. Herkommer
aus Vaihingen an der Enz

Rostock, 2008

Dekan: Prof. Dr. med. Emil C. Reisinger

1. Gutachter: Prof. (em.) Dr. med. Wolfgang Kienast, ehemaliger Direktor der Abteilung für Kardiologie der Universitäts- Kinder- und Jugendklinik Rostock

2. Gutachter: PD Dr. med. Regina Stoll, Institutsdirektorin des Instituts für Präventivmedizin an der medizinischen Fakultät der Universität Rostock

3. Gutachter: Prof. Dr. Dietmar Schranz, Leiter des Kinderherzzentrums, Abteilung für Kinderkardiologie und angeborene Herzfehler, Zentrum für Kinderheilkunde und Jugendmedizin des Universitätsklinikums Gießen und Marburg, Standort Gießen

Tag der Verteidigung: 24.02.2010

Inhalt

<u>1.</u>	<u>EINLEITUNG</u>	<u>5</u>
1.1.	DAS KRANKHEITSBILD DER PULMONALEN HYPERTENSION (P.H.)	5
1.2.	DER SECHS-MINUTEN-GEHTEST	8
1.3.	ANWENDUNG DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS BEI ERWACHSENEN P.-H.-PATIENTEN	12
1.4.	ANWENDUNG DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS IN DER PÄDIATRIE	12
1.5.	ANWENDUNG DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS BEI KINDERN MIT P.H.	14
1.6.	ZIEL DER ARBEIT	14
<u>2.</u>	<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	<u>16</u>
2.1.	REFERENZWERTERHEBUNG: AUSWAHL DER PROBANDEN, EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN	16
2.2.	DURCHFÜHRUNG DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS BEI GESUNDEN PROBANDEN	18
2.2.1.	VERSUCHSAUFBAU, VORBEREITUNGEN, ABLAUF UND ABBRUCHKRITERIEN	18
2.2.2.	ERFASSUNG DES BELASTUNGSGRADES MIT HILFE DER MODIFIZIERTEN BORG-SKALA UND VERGLEICH MIT DER FAHRRADSPIROERGOMETRIE	20
2.3.	DURCHFÜHRUNG DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS BEI PATIENTEN MIT PULMONALER HYPERTENSION	20
2.4.	STATISTIK	25
<u>3.</u>	<u>ERGEBNISSE</u>	<u>26</u>
3.1.	DIE SECHS-MINUTEN-GEHSTRECKE DER VERGLEICHSGRUPPE	26
3.2.	ERGEBNISSE DER WIEDERHOLUNGEN DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS IN DER VERGLEICHSGRUPPE	28
3.3.	VERGLEICH MIT DEN ERGEBNISSEN DER FAHRRADSPIROERGOMETRIE	29
3.4.	ABHÄNGIGKEIT DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS VON ALTER UND KÖRPERMABEN DER PROBANDEN	31
3.5.	ABHÄNGIGKEIT DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS VON WEITEREN PARAMETERN	33
3.6.	ERGEBNISSE BEI PATIENTEN MIT PULMONALER HYPERTENSION	34

<u>4.</u>	<u>DISKUSSION</u>	<u>43</u>
4.1.	TESTWIEDERHOLUNGEN	43
4.2.	ERGEBNISSE DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS BEI GESUNDEN	44
4.3.	ERGEBNISSE DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS BEI PATIENTEN MIT PULMONALER HYPERTENSION	50
4.4.	VORTEILE UND GRENZEN DES SECHS-MINUTEN-GEHTESTS	55
4.5.	FALLSTUDIE ZUR THERAPIEKONTROLLE MIT DEM SECHS-MINUTEN-GEHTEST	57
<u>5.</u>	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	<u>59</u>
<u>6.</u>	<u>THESEN</u>	<u>61</u>
<u>7.</u>	<u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</u>	<u>63</u>
<u>8.</u>	<u>VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN, TABELLEN UND DIAGRAMME</u>	<u>65</u>
<u>9.</u>	<u>DANKSAGUNG</u>	<u>67</u>
<u>10.</u>	<u>LITERATUR</u>	<u>68</u>
<u>11.</u>	<u>PUBLIZIERTE ABSTRACTS</u>	<u>80</u>
<u>12.</u>	<u>EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG</u>	<u>80</u>
<u>13.</u>	<u>TABELLARISCHER ANHANG</u>	<u>81</u>

1. Einleitung

1.1. Das Krankheitsbild der pulmonalen Hypertension (p.H.)

Bei der pulmonalen Hypertension (p.H.) handelt es sich um eine seltene, rasch progrediente Erkrankung, deren Prognose trotz neuer Therapiemöglichkeiten heute noch ungünstig ist (111). Die mittlere Überlebenszeit nach der Diagnose einer p.H. beträgt knapp drei Jahre, bei Kindern eher noch weniger (10;37). Exakte Daten über die Häufigkeit der pulmonalen Hypertension sind nicht verfügbar, die Inzidenz wird auf 1 bis 2 Fälle pro Million Einwohner und Jahr geschätzt (10;56;129). Nach Definition der New York Heart Association (NYHA) liegt eine pulmonale Hypertension vor, wenn ab einem Lebensalter von drei Wochen der Mitteldruck in den Pulmonalarterien 20 mm Hg in Meereshöhe bzw. 25 mm Hg in Hochlagen überschreitet (132). Klinisch manifest wird die Erkrankung mit Symptomen wie Belastungsdyspnoe, Zyanose, Synkopen, pektanginösen Beschwerden oder persistierendem Husten oft erst dann, wenn der pulmonal-arterielle Druck dauerhaft mehr als die Hälfte des systemarteriellen Druckes beträgt. Bei Gesunden liegt der Pulmonalarteriendruck bei etwa einem Fünftel des im großen Kreislauf herrschenden Druckes. Die pulmonale Hypertension wurde lange Zeit nach ihrer Ätiologie in eine primäre und eine, im Kindesalter wesentlich häufigere, sekundäre widerstands- oder flussbedingte Form eingeteilt. Die Unterscheidung in primäre und sekundäre Formen tritt zugunsten einer auf den pathophysiologischen Vorgängen basierenden Klassifikation der pulmonalen Hypertension zunehmend in den Hintergrund. Diese neue Einteilung wurde 1998 auf der WHO-Konferenz in Evian erarbeitet und ist der Tabelle 1 zu entnehmen (133).

Durch den anhaltend hohen Druck in der pulmonal-arteriellen Strombahn kommt es bei allen Formen der p.H. zu einem Umbau der Arteriolen, der mit einer anfangs noch reversiblen Hypertrophie der Media beginnt und allmählich in eine Proliferation der Intima, der *Elastica interna* und in die Obliteration kleiner peripherer Lungengefäße übergeht. Mit dem Erreichen solch fortgeschrittener Stadien wird die pulmonale Hypertension irreversibel und persistiert auch nach Beseitigung der Ursache. Daher zielt die Therapie hauptsächlich darauf ab, die Progredienz der Erkrankung zu verzögern und die Lebensqualität der Patienten zu verbessern. Für pädiatrische Patienten liegen noch wenig verlässliche Daten über die Behandlung vor, da das Krankheitsbild im Kindes- und Jugendalter selten vorkommt. Die medikamentöse Therapie reicht von Sauerstoffgaben bis hin zu Verwendung von Endothelin-Rezeptor-

Antagonisten, Prostazyklin-Derivaten, Phosphodiesterasehemmern sowie Calcium-Antagonisten (58;132).

Tabelle 1

Diagnostische Klassifikation der pulmonalen Hypertension nach der WHO-Konferenz in Evian 1998, im Kindesalter häufige Ursachen sind kursiv gedruckt (111;132)

1. Pulmonal-arterielle Hypertension

Primäre pulmonal-arterielle Hypertension

- a) sporadisch
- b) familiär

Pulmonal-arterielle Hypertension bei:

- a) Kollagenosen
- b) *Kongenitalen systemisch- pulmonalen Shuntvitien*
- c) Portaler Hypertension
- d) HIV- Infektion
- e) Medikamenten- und Drogeneinnahme (Appetitzügler u.a.)
- f) *Persistierender pulmonaler Hypertension des Neugeborenen*

2. Pulmonal-venöse Hypertension

Linksatriale oder linksventrikuläre Erkrankungen

Linksseitige Klappenerkrankungen

Kompression der zentralen Lungenvenen von außen

- a) Mediastinalfibrose
- b) Adenopathie, Tumoren

Pulmonale venookklusive Krankheit

3. Pulmonale Hypertension assoziiert mit Erkrankungen der Atemwege und/ oder Hypoxämie

Chronische obstruktive Lungenerkrankung (COPD)

Interstitielle Lungenerkrankungen

Schlafapnoe

Erkrankungen mit alveolärer Hypoventilation

Leben in großer Höhe

Lungenerkrankungen des Neugeborenen

Bronchopulmonale Dysplasie

4. Pulmonale Hypertension aufgrund chronischer thromboembolischer Erkrankungen

Thromboembolie der proximalen Lungenarterien

Obstruktion der distalen Lungenarterien

- a) Lungenembolie
- b) In-situ-Thrombose
- c) Sichelzellanämie

5. Pulmonale Hypertension aufgrund von Erkrankungen, die unmittelbar die Lungengefäße betreffen

Inflammatorisch

- a) Schistosomiasis
- b) Sarkoidose
- c) Andere

Pulmonal-kapilläre Hämangiomatose

Angesichts der Schwere und Bedrohlichkeit des Krankheitsbildes ist ein sorgfältiges Vorgehen von besonderer Wichtigkeit. Dies betrifft die Anamnese, Diagnostik, Verlaufskontrolle und Aussagen zur Prognose. Bei p.-H.-Patienten findet ein breites Spektrum an klinischen und paraklinischen Untersuchungen Anwendung, um das Stadium der

Erkrankung, eventuelle Begleit- oder Folgeschäden sowie deren Auswirkungen auf Allgemeinbefinden und Lebensqualität zu eruieren (22). Diese Untersuchungsergebnisse bilden die Basis der nach den individuellen Bedürfnissen des Patienten ausgerichteten medikamentösen, physikalischen und/oder chirurgischen Therapie. Zur Routinediagnostik gehört neben ausführlicher Anamnese und körperlicher Untersuchung, Bestimmung der Laborwerte, Elektrokardiographie, Echokardiographie, Röntgen-Thorax-Aufnahme, Messung der Sauerstoffsättigung, Lungenfunktionstests und Herzkatheteruntersuchungen auch die Einschätzung der körperlichen Belastbarkeit.

1.2. Der Sechs-Minuten-Gehtest

Ein Gehtest von standardisierter Zeitdauer als Mittel zur Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit wurde unseres Wissens erstmals im Jahr 1968 von Cooper und Mitarbeitern evaluiert. Es handelte sich damals um einen zwölf Minuten dauernden submaximalen Belastungstest für erwachsene Patienten (33). Cooper untersuchte einen hinsichtlich der Testbedingungen wenig standardisierten „walk-run-Test“, in dem neben den durch schnelles Gehen erreichten Distanzen auch diejenigen beim Laufen bewertet wurden. Durchgeführt wurde der Geh-Lauftest bei jungen Rekruten und unter freiem Himmel. Cooper und Mitarbeiter untersuchten als Referenzmethode die maximale Sauerstoffaufnahme gesunder junger Männer bei der Laufbandergometrie und prüften Zusammenhänge mit der Zwölf-Minuten-Geh-Laufstrecke. Da die beiden aufgeführten Parameter deutlich korrelierten und damit die Eignung des Zwölf-Minuten-Gehtests als Maß für die körperliche Leistungsfähigkeit Erwachsener als erwiesen galt, etablierte sich diese Methode der Leistungsevaluierung in den darauffolgenden Jahren, zunächst hauptsächlich in den Vereinigten Staaten. Die Anwendbarkeit des „walk-run“-Tests wurde 1971 von Maksud und Mitarbeitern an jungen Männern untersucht und als valide eingestuft (97).

Mac Gavin und Mitarbeiter legten 1976 eine Studie über einen Zwölf-Minuten-Gehtest zur Beurteilung des Grades der allgemeinen Leistungsminderung chronisch Lungenkranker vor (100). Es ergaben sich eine gute Reproduzierbarkeit des Tests und signifikante Relationen zwischen der Zwölf-Minuten-Gehstrecke und forcierter Vitalkapazität sowie maximaler Sauerstoffaufnahme und Ventilation bei der Fahrradspiroergometrie. Mac Gavin und Mitarbeiter empfahlen den Gehtest für den klinischen Alltag, da er „nützliche objektive Informationen über Belastungstoleranz bei chronischer Bronchitis“ liefere und über die

Behinderung der Patienten im alltäglichen Leben besser Auskunft gebe als maximale Belastungstests.

In der Folge wiesen wiederum Mac Gavin und Mitarbeiter dem Gehstest eine hohe Korrelation mit der Einsekundenkapazität ihrer Patienten nach und benutzten ihn als „verlässliches“ Mittel zur Überprüfung der Effekte von ambulant durchgeführten Rehabilitationsprogrammen bei Erwachsenen mit chronischer Bronchitis (99). Zwei Jahre später bewerteten Mungall und Mitarbeiter abermals den Nutzen des Gehstests zur Betrachtung des Lungenfunktionsstatus bei Patienten mit chronischer obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) (107). Ähnlichen Fragestellungen gingen Sinclair und Cockcroft in Publikationen aus den Jahren 1980 bzw. 1981 nach. Sie verwendeten den Zwölf-Minuten-Gehstest zur Überprüfung der Effekte verschiedener Trainingsmaßnahmen (29;134). Eine dänische Studie ergab enge Korrelationen der Zwölf-Minuten-Gehstrecke mit der Lungenfunktion Erwachsener (39). Alison und Mitarbeiter fanden bei COPD-Patienten signifikante Zusammenhänge zwischen der Leistung in der Fahrradspiroergometrie und dem Ergebnis des Gehstests (3). Swinburn und Mitarbeiter zogen den Zwölf-Minuten-Gehstest 1985 heran, um drei unterschiedliche Belastungstests - den Gehstest, einen Stufen-Test und die Fahrradspiroergometrie - für Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung zu vergleichen (143). Sie bewerteten den Gehstest als eine zutreffende und aussagekräftige, wenn auch in gewissem Ausmaß von der Motivation des Untersuchten abhängige Methode. Um den inzwischen zur Routinediagnostik und Therapiekontrolle chronisch Lungenkranker herangezogenen Gehstest in seiner Praxisrelevanz zu verbessern, überprüften Butland und Mitarbeiter 1982 einen zwei- und einen sechsminütigen Gehstest hinsichtlich der Korrelation mit der bislang praktizierten Variante (23). Hierbei stellten sie fest, dass die Resultate der kürzeren Gehstests eng mit denen des zwölfminütigen korrelierten und empfahlen den Einsatz des Sechs-Minuten-Gehstests als einfacher durchzuführendes und dem Zwölf-Minuten-Test ebenbürtiges Verfahren.

Einen wesentlichen Beitrag zur Standardisierung des Sechs-Minuten-Gehstests leisteten Guyatt und Mitarbeiter im Jahr 1984 mit ihrer Publikation über den Einfluss von motivierenden Kommentaren seitens des Untersuchungsleiters auf die durchschnittlich erreichte Gehstrecke (62). In dieser randomisierten Studie, die insgesamt 43 Patienten mit chronischen Herz- oder Lungenerkrankungen einschloss, wurde nachgewiesen, dass sich durch einfache verbale Unterstützung die Ergebnisse signifikant verbessern und Patienten, welche keinerlei motivierende Kommentare erhalten, deutlich schlechter abschneiden. Zusätzlich konnte die Arbeitsgruppe um Guyatt zeigen, dass die Leistung beim Gehstest nicht nur von der verbalen Unterstützung, sondern auch vom Lebensalter der Patienten und von der Anzahl der

Testwiederholungen abhängig ist. Die gemessenen intraindividuellen Unterschiede hinsichtlich der zurückgelegten Gehstrecke waren jedoch sowohl in der Gruppe, die durch Kommentare motiviert wurde, als auch in der Kontrollgruppe gering. Von denselben Autoren wurde der Gehstest im darauffolgenden Jahr nochmals evaluiert und als verlässliche Methode eingeschätzt (63). Sie führten bei jedem der 18 Herzkranken über einen Beobachtungszeitraum von sechs Wochen sechs Gehtests durch und stellten dabei fest, dass nach zwei Gewöhnungsdurchgängen die Gehstrecke gleich blieb. Zum Vergleich dienten einerseits die Gehstrecken von 25 Patienten mit chronischem Lungenleiden und andererseits eine konventionelle Fahrradspiroergometrie, die jeder Patient absolvierte. Es konnte eine Korrelation zwischen der Gehstrecke und der Fahrradspiroergometrie und dem durch herkömmliche Untersuchungen eruierten Allgemeinzustand nachgewiesen werden. Weil der Sechs-Minuten-Gehtest sich zudem als zuverlässig reproduzierbar, sicher und von den Patienten ausnahmslos gut akzeptiert erwiesen hatte, wurde er von Guyatt für den Einsatz bei chronisch herzkranken Patienten im Rahmen klinischer Studien empfohlen.

1986 veröffentlichte eine Arbeitsgruppe um Lipkin Analysen über den Sechs-Minuten-Gehtest zur Objektivierung der Leistungsfähigkeit (93). Untersucht wurden 26 Erwachsene mit chronischer Herzinsuffizienz, die einen zweifach wiederholten Gehstest sowie eine Spiroergometrie absolvierten. Referenzwerte lieferten zehn Gesunde vergleichbaren Alters. Lipkin stellte fest, dass die mittlere Gehstrecke der Herzkranken signifikant hinter derjenigen der Referenzgruppe zurückblieb und empfahl den Sechs-Minuten-Gehtest als verlässliches Mittel zur Ergänzung der klinischen Untersuchungen. Eine Steigerung der Gehstrecke vom ersten bis zum dritten Versuch im Sinne eines Gewöhnungseffektes konnte auch hier beobachtet werden. Als praktikable und gut reproduzierbare Methode erwies sich der Sechs-Minuten-Gehtest auch für Herzschrittmacher-Patienten (88;121).

Bittner und Mitarbeiter prüften 1993 in einer prospektiven Kohortenstudie die Korrelation zwischen der Sechs-Minuten-Gehstrecke und Hospitalisationsraten sowie Mortalität bei erwachsenen Patienten mit linksventrikulärer Dysfunktion (12). Diese bis dahin mit 833 teilnehmenden Kranken und 40 gesunden Referenzpersonen größte Studie beschrieb den Gehstest als unabhängige Methode, die Notwendigkeit zur Hospitalisation und die Mortalität der Patienten vorherzusagen. Des Weiteren stelle der Sechs-Minuten-Gehtest eine wichtige Ergänzung zu den herkömmlichen die Prognose abwägenden Untersuchungen dar. Vergleichbare Aussagen wurden in einer italienischen Arbeit getroffen, wenn auch der Sechs-Minuten-Gehtest hier etwas eingeschränkter empfohlen wurde (34). Auch in weiteren Studien auf den Gebieten der Kardiologie und Pulmonologie fand diese Belastungstestmethode

vielfach Anwendung (1;20;21;25;42;43;49;51;137;139). Haass und Mitarbeiter empfahlen den Sechs-Minuten-Gehtest als Alternative zur Spiroergometrie, da ihre Studie deutliche Zusammenhänge zwischen der fahrradspiroergometrisch gemessenen maximalen Sauerstoffaufnahme und der zurückgelegten Wegstrecke ergeben hatte (64). Ähnliche Resultate hatte eine Untersuchung an Patienten mit dilatativer Kardiomyopathie von Hoffmann erbracht (72). Zusammenhänge zwischen dem Ergebnis des Sechs-Minuten-Gehtests und der Herzfrequenzvariabilität ließen sich nicht nachweisen (157).

Opasich und Mitarbeiter werteten den Sechs-Minuten-Gehtest als sinnvolle zusätzliche Informationsquelle zur Bewertung des Allgemeinzustandes Herzkranker, auch wenn ihre Untersuchungen keine gute Reproduzierbarkeit ergaben (113). Referenzwerte sowie Formeln zur Vorhersage der Ergebnisse für die Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder Erwachsener wurden 1998 von Enright und Mitarbeitern nach Erhebungen an 117 Testpersonen publiziert; von einer Arbeitsgruppe um Troosters folgten ein Jahr später Referenzwerte für ältere Menschen (47;145). Peeters hatte den Nutzen des Sechs-Minuten-Gehtests für ältere Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz bestätigt (119), und Harada und Mitarbeiter stellten eine Abhängigkeit der Gehstrecke von der körperlichen Aktivität alter Menschen fest (66).

Die Reproduzierbarkeit bewerteten 1999 Jorquera-Guillén und Mitarbeiter. Der sechsminütige Gehtest schnitt dabei etwas besser ab als die doppelt so lange Variante; sein Nutzen für Mukoviszidose-Patienten wurde bestätigt (77). Bei einer vergleichenden Untersuchung zwischen Korridor- und Laufbandgehtest wurde beiden Versionen eine hohe Reproduzierbarkeit zuerkannt (40). Perepech und Mitarbeiter veröffentlichten eine Untersuchung über den Einsatz des Sechs-Minuten-Gehtests an Patienten mit koronarer Herzkrankheit. Auch sie bewerteten den Gehtest als geeignete Methode (120). Von Troosters und Mitarbeitern wurde dem Sechs-Minuten-Gehtest ein hoher prognostischer Wert bei der Untersuchung lungenkranker Erwachsener zuerkannt (147). Dieselben Autoren werteten den Gehtest unter der Voraussetzung standardisierter Durchführung als verlässliche Methode (146). In einer Studie von van Stel aus dem Jahr 2001 wurden verschiedene Faktoren untersucht, die das Resultat des Gehtests beeinflussen. Unter 15 Parametern waren es Herzfrequenzverhalten, empfundene Symptome und Abfall der Sauerstoffsättigung, welche die interindividuelle Varianz der zurückgelegten Gehstrecke am treffendsten erklären konnten (149).

Der Gehtest fand unter anderem Anwendung zur Interpretation subjektiv empfundener Leistungseinschränkung bei Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen, zur Beurteilung der Lungenschädigung nach Bestrahlung und der Veränderungen in der Noradrenalin-

Plasmakonzentrationen unter submaximaler Belastung, in der Rheumatologie, der Chirurgie und der Geriatrie (101). Er diene beispielsweise der Beurteilung des Schweregrades der Erkrankung und der Erfolgskontrolle verschiedener Rehabilitations- und Trainingsmaßnahmen (5;52;59;65;66;78;84;105;117;126;150). Von Solway und Kollegen wurde 2001 eine Übersicht über alle bis dahin existierenden Arbeiten, die Gehtests als Thema hatten, erstellt (136). Mit der Relevanz kürzerer Gehtests von fünf bis drei Minuten Dauer beschäftigten sich Knox, Strijbos und Iriberry (75;85;141;142). Obwohl sie sehr zufrieden stellende Resultate aufweisen konnten, setzten sich diese Modifikationen nicht durch. Auch der Zwei-Minuten-Gehstest wird relativ selten angewendet (148).

Einige Autoren stellten auch Untersuchungen über symptom-limitierte Gehtests an, bei denen nicht das Ende einer vorgegebenen Zeitspanne, sondern das Auftreten von Beschwerden den Schlusspunkt der Untersuchung markierte. Diese Methode ging jedoch genauso wenig in die Routinediagnostik ein wie Tests mit einer festgelegten Streckenlänge oder Gehgeschwindigkeit, ein Neun-Minuten-Gehstest oder ein sogenannter „Shuttle-Gehstest“ (8;9;41;67;79;80;90;106;110;118;124;135). Bei letzterem wird die Geschwindigkeit, mit der eine Strecke von etwa zehn Metern Länge umrundet werden soll, durch akustische Signale vorgegeben und nicht vom Patienten selbst bestimmt.

1.3. Anwendung des Sechs-Minuten-Gehstests bei erwachsenen p.-H.-Patienten

Gehstests sind als Untersuchungsmethode für p.-H.-Patienten von besonderem Interesse, da in dieser Patientengruppe häufig Kontraindikationen für andere Belastungstests bestehen und der Sechs-Minuten-Gehstest bei Patienten mit pulmonaler Hypertension geringeren metabolischen Stress verursacht als die Fahrradspiroergometrie (38). Gerade zur Beurteilung auch geringerer Therapieerfolge wurden Gehstests bereits vielfach eingesetzt (25;27;28). Unter Behandlung mit neuen Präparaten wie Prostazyklin-Analoga oder Endothelin-Rezeptor-Antagonisten steigerte sich die Sechs-Minuten-Gehstrecke erwachsener p.-H.-Patienten gegenüber den Ausgangswerten signifikant (6;26;71;112;114;140;154). Auch zur Einschätzung der Prognose erwies sich der Sechs-Minuten-Gehstest als hilfreich (102).

1.4. Anwendung des Sechs-Minuten-Gehstests in der Pädiatrie

Belastungsuntersuchungen stellen gerade bei Kindern und Jugendlichen eine ausgesprochen wichtige Ergänzung der übrigen Diagnosemethoden dar. In dieser Altersgruppe kann durch

die anamnestischen Angaben häufig ein nur sehr vages Bild der körperlichen Belastbarkeit im Alltag gewonnen werden, sie spielt aber eine entscheidende Rolle für die Lebensqualität der jungen Patienten (70). Um eine von subjektiver Bewertung der Kranken (bzw. ihrer Eltern) und individueller Interpretation des Untersuchers weitgehend unabhängige Objektivierung der körperlichen Leistungsfähigkeit zu ermöglichen, werden ergometrische Untersuchungen durchgeführt. Je nach Ausstattung der Klinik kann es sich dabei um ein Fahrrad(spiro)ergometer oder ein Laufband handeln. In den USA werden häufiger Laufbandergometer verwendet. Es existieren noch weitere Methoden zur Leistungsevaluierung, z. B. Steigen von Treppenstufen oder Kniebeugen, die aber weniger standardisierbar sind. Die Fahrrad(spiro)ergometrie ist zwar bei Kindern noch nicht einheitlich evaluiert, jedoch hinsichtlich der Bewegungsform und zur Beantwortung vielseitiger Fragestellungen gut geeignet (4;18;31;32;35;68;83). Allerdings ist sie nicht für alle Patienten durchführbar, da schwere pulmonale Hypertension beispielsweise zu den Kontraindikationen für die Fahrrad(spiro)ergometrie zählt (153). Zudem stellt die Ergometrie Anforderungen an die Koordination der Untersuchten. Einige Autoren bezweifeln auch, ob maximale Belastungstests bei Kindern die tatsächliche Leistungsfähigkeit im Alltag adäquat widerspiegeln können (30). Daher stellt sich die Frage, ob ein Test, der die häufigste Bewegungsform, das Gehen, beurteilt, für körperlich stark beeinträchtigte Patienten eine geeignete Alternative zur Fahrradspiroergometrie darstellen könnte. Basierend auf den zahlreichen Studienergebnissen über den Einsatz des Sechs-Minuten-Gehtests in der Erwachsenenmedizin führten Gulmans und Mitarbeiter 1996 eine Untersuchung über die Durchführbarkeit des Gehtests bei Kindern mit leichter bis mittelschwerer zystischer Fibrose durch. Diese ergab eine gute Reproduzierbarkeit und Validität der Sechs-Minuten-Gehstrecke (61). Cunha und Kollegen befürworteten ebenfalls den Einsatz des Sechs-Minuten-Gehtests bei Kindern und Jugendlichen mit Mukoviszidose (36). Die maximale Sechs-Minuten-Gehstrecke von Kindern auf der Warteliste zur Herz-Lungen-Transplantation korrelierte mit der durch eine Fahrradspiroergometrie bestimmten Leistung und maximalen Sauerstoffaufnahme. Eine Korrelation ergab sich auch für die Sechs-Minuten-Gehstrecke und die während des Gehtests bestimmten Sauerstoffsättigungswerte. Daher wurde der Sechs-Minuten-Gehtest als Alternative zur Spiroergometrie bei dieser Patientengruppe vorgeschlagen (108). Von Moalla wurde eine Korrelation der Sechs-Minuten-Gehstrecke mit der maximalen Sauerstoffaufnahme und der anaeroben Schwelle von Kindern mit angeborener Kardiomyopathie festgestellt (103). Basaran und Mitarbeiter nutzten den Sechs-Minuten-Gehtest, um den positiven Einfluss leichten körperlichen Trainings auf den

Allgemeinzustand asthmakranker Kinder zu beurteilen (7). Auch auf dem Gebiet der pädiatrischen Rheumatologie wurde der Sechs-Minuten-Gehtest bereits angewendet. Takken benutzte diesen Test zur Objektivierung des positiven Effektes von Wassersport auf die Beweglichkeit von Kindern mit juveniler rheumatoider Arthritis, und Paap stellte an einer vergleichbaren Patientengruppe fest, dass während des Sechs-Minuten-Gehtests Herzfrequenz und maximale Sauerstoffaufnahme etwa 80% der bei einer Fahrradspiroergometrie gemessenen Werte erreichen (115;144). Referenzwerte für die Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder Kinder wurden erstmals 2007 veröffentlicht (55;87;91).

1.5. Anwendung des Sechs-Minuten-Gehtests bei Kindern mit p.H.

In einer Studie über Belastungstests zur Beurteilung des klinischen Zustands von Kindern mit pulmonaler Hypertension brachten Garofano und Mitarbeiter den Sechs-Minuten-Gehtest zum Einsatz und bezeichneten ihn als besonders geeignet zur Aufdeckung geringerer Veränderungen im funktionellen Status der jungen Patienten (54). Maiya und Kollegen nutzten den Sechs-Minuten-Gehtest, um den Effekt einer Behandlung mit dem Endothelin-Rezeptorantagonist Bosentan bei 40 Kindern mit pulmonaler Hypertension zu beurteilen (96). Auch zur Therapiekontrolle unter Gabe des Phosphodiesterasehemmers Sildenafil diente der Gehtest bereits, nach sechsmonatiger Behandlung steigerte sich die Sechs-Minuten-Gehstrecke der p.-H.-Patienten signifikant (74). Eine Steigerung der Gehstrecke wurde auch von Lammers und Kollegen beobachtet, die den Effekt einer Therapie mit Epoprostenol bei Kindern mit schwerer pulmonaler Hypertonie untersuchten (86).

1.6. Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit war, die Eignung eines standardisierten Sechs-Minuten-Gehtests in der Diagnostik und Verlaufskontrolle, insbesondere zur Überprüfung des Therapieerfolges neuer Medikamente bei pädiatrischen Patienten mit pulmonaler Hypertension, zu beurteilen. Zu diesem Zweck war es notwendig, Referenzwerte für die Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder deutscher Kinder unterschiedlicher Altersgruppen zu erheben und den Gehtest auf Zusammenhänge mit der fahrradspiroergometrisch ermittelten Leistungsfähigkeit zu überprüfen. Zudem wurden Methoden zur Beschreibung des Belastungsgrades am Ende des Gehtests bewertet. Auf der Grundlage dieser Referenzwerte sollte die Gehstrecke der Patienten mehrmals zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Krankheits- und Therapieverlauf

gemessen und auf Zusammenhänge mit klinischen, echokardiographisch gemessenen und bei der Herzkatheteruntersuchung erhobenen Daten untersucht werden.

2. Material und Methoden

2.1. Referenzwerterhebung: Auswahl der Probanden, Ein- und Ausschlusskriterien

Zur Teilnahme an der Referenzwerterhebung bestimmten wir für sämtliche Probanden folgende Kriterien: Das Lebensalter wurde zwischen fünf und einschließlich achtzehn Jahren festgelegt, da jüngere Kinder durch ihre oft noch nicht entsprechend entwickelte Ausdauer sowie mangelndes Verständnis für Zweck und Aufgabe des Gehtestes unseres Erachtens nur ungenügend zu guter Mitarbeit motiviert werden können. Die Probanden wurden in die folgenden Altersgruppen eingeteilt: 5-7 Jahre (Altersgruppe 1), 8-13 Jahre (Altersgruppe 2) und 14-18 Jahre (Altersgruppe 3). Für alle minderjährigen Testpersonen war das Einverständnis der Eltern bzw. Erziehungsberechtigten zur Teilnahme ihres Kindes an den Untersuchungen eingeholt worden. Die Probanden mussten sich sowohl hinsichtlich des Körpergewichtes als auch hinsichtlich der Körpergröße innerhalb der Altersnorm, das heißt zwischen der dritten und 97. Perzentile der Wachstums- und Gewichtskurve befinden. Wir benutzten deutsche Referenzwerte für Körperhöhe und Gewicht (19;123). Übergewichtige, deren Ergebnis durch die große zu bewegende Körpermasse beeinträchtigt sein könnte, wurden ebenso ausgeschlossen wie Untergewichtige, die sich möglicherweise in einem unterdurchschnittlichen Kräftezustand befinden. Da übermäßig hoch- oder kleinwüchsige Kinder durch die entsprechend veränderte Schrittlänge eventuell größere bzw. geringere Wegstrecken zurücklegen als durchschnittlich große der entsprechenden Altersgruppe, gehörte eine Körpergröße zwischen der dritten und 97. Perzentile ebenfalls zu den Einschlusskriterien. Bei jedem Teilnehmer erfolgte zudem eine ausführliche Anamnese. Die Probanden wurden entsprechend ihrer sportlichen Aktivität in drei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe umfasste diejenigen Vergleichspersonen, die überhaupt keinen Sport trieben, die zweite Gruppe Kinder und Jugendliche mit bis zu drei Stunden pro Woche, was in etwa dem Pensum des Schulsports entspricht und die dritte Gruppe Probanden mit drei bis acht Stunden körperlicher Betätigung pro Woche. Leistungssportler, das heißt in diesem Fall Kinder und Jugendliche, die regelmäßig mehr als acht Stunden Sport pro Woche treiben, wurden von der Teilnahme ausgeschlossen, da wir von diesen nicht repräsentativ hohe, die Referenzwerte nach oben verzerrende Leistungen erwarteten. Raucher wurden ebenfalls von der

Untersuchung ausgenommen, da bei diesen die Leistungsfähigkeit durch verschlechterte Lungenfunktion und verringerte Perfusion der Körperperipherie beeinträchtigt sein könnte.

Hämodynamisch wirksame Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie zum Beispiel Vitien mit bedeutendem Shuntvolumen, Herzinsuffizienz und Herzrhythmusstörungen zählten ebenso zu den Ausschlusskriterien wie Lungenerkrankungen (z. B. Asthma bronchiale oder restriktive Ventilationsstörungen). Des Weiteren durften bei den Vergleichspersonen weder Muskel- und Skeletterkrankungen noch die körperliche Leistungsfähigkeit potenziell beeinflussende andere Systemerkrankungen vorliegen. Die Gehtests wurden ausschließlich bei Infektfreiheit, fehlenden klinischen Krankheitszeichen und gutem subjektivem Allgemeinbefinden der Probanden durchgeführt. Körperliche Behinderung sowie deutliche geistige Retardierung stellten bei der Referenzwerterhebung Ausschlusskriterien dar. Keiner der Probanden hatte jemals zuvor an einem Gehtest teilgenommen, so dass von ähnlichen Voraussetzungen hinsichtlich Lern- und Gewöhnungseffekten ausgegangen werden konnte.

Die Ergebnisse wurden nur dann verwertet, wenn die Kinder und Jugendlichen eine adäquate Motivation bzw. Bereitschaft zur Mitarbeit gezeigt hatten. Die Sechs-Minuten-Gehtests wurden nicht direkt nach Mahlzeiten, aber auch nicht bei nüchternen Probanden durchgeführt. Hiermit wurde eine Beeinflussung des Testergebnisses durch eventuelle Herabsetzung der körperlichen Leistungsfähigkeit postprandial bzw. nach längerer Nüchternperiode ausgeschlossen.

An den Versuchen zur Erhebung von Referenzwerten für den Sechs-Minuten-Gehtest bei Kindern und Jugendlichen nahmen insgesamt 300 gesunde Vergleichspersonen - 129 Jungen und 171 Mädchen - im Alter von fünf bis 18 Jahren teil. Es handelte sich in 150 Fällen um Freiwillige, größtenteils um Rostocker Schüler und Kindergartenkinder, die ausschließlich zur Durchführung der Gehtests in die Kinderklinik gekommen waren. Die übrigen 150 Probanden waren teils in der kardiologischen Ambulanz vorstellig gewordene, teils aus diagnostischen Gründen stationär aufgenommene Kinder und Jugendliche, deren (Verdachts-) Diagnosen keine Ausschlusskriterien darstellten. Zu diesen Diagnosen zählten beispielsweise orthostatische Dysregulation, Migräne, medikamentös behandelte Hypothyreose ohne Komplikationen, minimale Klappenitien ohne Auswirkung auf die Hämodynamik, Morbus Meulengracht oder atopisches Ekzem.

Die Durchführung der vorliegenden Studie war vor Beginn der klinischen Untersuchungen von der zuständigen Ethikkommission der Universität Rostock genehmigt worden.

2.2. Durchführung des Sechs-Minuten-Gehtests bei gesunden Probanden

2.2.1. Versuchsaufbau, Vorbereitungen, Ablauf und Abbruchkriterien

Wie von Troosters empfohlen, führten wir die Sechs-Minuten-Gehtests unter standardisierten Bedingungen durch (146). Alle Gehtests fanden zur Konstanthaltung der Rahmenbedingungen auf demselben Klinikflur statt. Sowohl Temperatur (zwischen 18 und 21 Grad Celsius) als auch Beleuchtung waren bei jeder Untersuchung gleich. Die Strecke zwischen dem deutlich markierten Start- und dem Wendepunkt betrug exakt 80 Meter. Zur genauen Bestimmung der erreichten Gehstrecke waren alle fünf Meter seitlich am Boden kleine Teilstreckenmarkierungen angebracht. Vor Beginn jedes Durchganges wurden die Zwischentüren auf dem Flur weit geöffnet, um einen ungestörten Ablauf sicherzustellen. Mit vier Metern Breite bot dieser Flur reichlich Platz für die Probanden, der Boden bestand aus glatten Steinplatten und war nicht mit Teppich ausgelegt, was ein Gehen ohne störende Reibung möglich machte (siehe Abbildung 1). Da durch unangemessenes bzw. schlecht sitzendes Schuhwerk und unbequeme Kleidung die Ergebnisse verschlechtert werden könnten, trug jeder Proband bequeme Turn- oder Straßenschuhe und entsprechende, leichte Bekleidung. Überwacht wurden sämtliche Versuche von derselben Testleiterin, die jedem Kind bzw. Jugendlichen dieselben Erklärungen und Anweisungen gab. Für alle Probanden wurden dieselben Untersuchungsutensilien (mechanische Stoppuhr und Untersuchungsprotokoll) benutzt. Die Probanden absolvierten den Gehtest bis auf wenige Ausnahmen ohne Begleitung. Die Testleiterin blieb an der Startmarkierung stehen. Durch diese Maßnahme sollte eine Anpassung an das Schrittempo der begleitenden Person verhindert werden. Begleitung boten wir nur den jüngeren Probanden in der Altersgruppe von fünf bis sieben Jahren an, um auch ängstliche Kinder zu einer entsprechenden Teilnahme zu ermutigen. Allerdings wünschten nur acht der 49 Kinder dieser Altersgruppe die Begleitung eines Erwachsenen. In diesen Fällen wurde betont, dass der Erwachsene nur nebenher gehe und die Geschwindigkeit vom Kind selbst bestimmt werden solle. Ein reibungsloser, ungestörter Ablauf der Gehtests war eine weitere Bedingung für die Verwertung der Ergebnisse. Bei Unruhe auf dem Korridor, Störung durch entgegenkommende Passanten oder bei Hindernissen auf der Strecke, die ein Ausweichen notwendig machten, wurde der Durchgang auf einen späteren Zeitpunkt verschoben, was jedoch lediglich in zwei Fällen notwendig war. Auf den Einsatz eines Podometers, wie von Haass zur Festlegung der

zurückgelegten Gehstrecke empfohlen, verzichteten wir, da bei diesen Messinstrumenten durch Variation der Schrittlänge gerade bei Kindern die Rate an Messfehlern relativ hoch ist und sie somit nicht zu größerer Exaktheit beitragen. Auch von der Verwendung eines Rolltachometers sahen wir wegen der für Kinder recht schwierigen Handhabung und dem geringen Nutzen ab (64). Als Zeitpunkt der Untersuchung wählten wir jeweils den Vormittag oder den frühen Nachmittag, um eine Beeinflussung der Ergebnisse durch physiologische Leistungstiefs (zur Mittagszeit oder bei abendlicher Müdigkeit) so gering wie möglich zu halten. Kervio und Mitarbeiter hatten gezeigt, dass es bezüglich der erreichten Gehstrecken Erwachsener irrelevant war, ob der Sechs-Minuten-Gehtest am Vormittag oder am Nachmittag durchgeführt wurde (81).

Verschiedene Studien haben einen signifikanten Einfluss motivierender Kommentare auf die Leistung bei Belastungstests im Allgemeinen und beim Gehtest im Speziellen erwiesen. In einer Untersuchung von Guyatt und Mitarbeitern aus dem Jahr 1984 zeigte sich beispielsweise eine deutliche Steigerung der Gehstrecke bei regelmäßigen ermunternden Zurufen (62). Momentan ist noch umstritten, ob als Konsequenz aus diesen Untersuchungsergebnissen standardisiert, beispielsweise jede Minute oder immer bei Passieren des Ausgangspunktes, Ermutigungen festgelegten Wortlautes wie „gut so!“ oder „weiter so!“ gegeben werden sollten oder ob durch Verzicht auf Kommentare größere Objektivität gewahrt werden kann. Nach Guyatt bietet weder die eine noch die andere Vorgehensweise überzeugende Vorteile; bei entsprechender Standardisierung werden in seiner Studie beide Methoden als gleichermaßen empfehlenswert dargestellt. Wir führten die Gehtests ohne verbale Ermutigungen durch.

Zur erklärenden Einleitung bekam jedes Kind vor dem ersten Durchgang die Information, dass es an einem sechs Minuten dauernden Belastungstest, genannt „Schnell-Geh-Test“ teilnimmt. Anweisung war, sechs Minuten lang sehr eilig vom Start- zum Wendepunkt am gegenüberliegenden Ende des Flures zu gehen, dort möglichst schnell umzukehren, ebenso eilig an den Ausgangspunkt zurückzukehren und dies ohne Pause so oft zu wiederholen, bis das Ende der sechs Minuten angesagt werden würde. Es sollte möglichst viel Wegstrecke zurückgelegt werden. Des Weiteren wurden die Probanden dazu angehalten, einen Übergang zum Joggen oder Laufen bewusst zu vermeiden. Es sollte jederzeit mindestens ein Fuß den Boden berühren. Bei eventuellem Unwohlsein jeglicher Art während des Tests sollten die Teilnehmer die Versuchsleiterin informieren. Der Gehtest wurde unterbrochen bzw. vorzeitig abgebrochen, wenn die Teilnehmer über Schwindel, Atemnot, Schmerzen, starke Erschöpfung oder Übelkeit klagten. Ungefähr zwei Minuten vor Ende des Durchgangs bekamen die

Probanden beim Passieren des Ausgangspunktes eine Zeitansage und wurden aufgefordert, weiterhin mit möglichst hoher Geschwindigkeit zu gehen sowie bei Ansage des Testendes unverzüglich stehen zu bleiben. Die erreichte Gehstrecke wurde mit Hilfe der Teilstreckenmarkierungen auf den Meter genau abgelesen und dem Probanden mitgeteilt. Alle Messwerte wurden auf einem Protokoll vermerkt (siehe Abbildung 2). Nach einer Erholungszeit von mindestens zwanzig Minuten, meist etwa einer Stunde, während derer die Probanden sich sitzend oder liegend ausruhten, wurde ein zweiter Durchgang mit demselben Ablauf durchgeführt. Bei 128 Versuchspersonen ließen wir noch eine zweite Testwiederholung folgen.

2.2.2. Erfassung des Belastungsgrades mit Hilfe der modifizierten Borg-Skala und Vergleich mit der Fahrradspiroergometrie

Zur Einschätzung des subjektiv empfundenen Erschöpfungsgrades wurde eine modifizierte Borg-Skala mit Zahlen von eins bis zehn verwendet, auf der die Zahl Zehn einen Zustand vollkommenen Verausgabtseins darstellt (siehe Abbildung 3). Zur Erklärung der Borg-Analogskala benutzten wir einheitliche Ausdrücke wie „überhaupt nicht außer Atem“ und „furchtbar erschöpft“. Die erhobenen Werte wurden auf Korrelation mit dem Ergebnis des Gehtests hin überprüft. Alle 81 Probanden, die nicht nur einen Gehtest, sondern auch eine Fahrradspiroergometrie absolviert hatten, wurden befragt, welchem der beiden Leistungstests sie bei freier Wahlmöglichkeit den Vorzug geben würden.

Eine Gruppe von 81 Probanden, 31 Jungen und 50 Mädchen, absolvierte zusätzlich zum Sechs-Minuten-Gehtest eine mit standardisiertem Ablauf durchgeführte Fahrradspiroergometrie. Belastungsprotokoll und Referenzwerte waren an Rostocker Schülern in den Jahren 1996 bis 1998 entwickelt worden (151). Dokumentiert wurden die maximale Leistung in Watt pro kg Körpergewicht, die maximale Sauerstoffaufnahme in ml/min/kg KG sowie die ventilatorische anaerobe Schwelle in ml/min/kg KG. Diese Parameter wurden in Prozent der Altersnorm umgerechnet und anschließend mit den entsprechenden Ergebnissen des Sechs-Minuten-Gehtests verglichen.

2.3. Durchführung des Sechs-Minuten-Gehtests bei Patienten mit pulmonaler Hypertension

In der kardiologischen Ambulanz der Universitäts-Kinder- und Jugendklinik Rostock wurden im Untersuchungszeitraum 20 Patienten mit pulmonaler Hypertension betreut. An unserer

Studie nahmen insgesamt 13 p.-H.-Patienten (zwei Jungen und elf Mädchen) teil. Für die restlichen Patienten war eine Teilnahme aufgrund ihres geringen Lebensalters nicht möglich. Die Patienten absolvierten den Sechs-Minuten-Gehtest nach demselben standardisierten Protokoll wie die gesunden Vergleichspersonen auf demselben Flur, ebenfalls ohne ermunternde Kommentare und mit mindestens einer Testwiederholung (siehe Abbildung 4). Zusätzlich zu den unter 2.2.1 genannten galten für die Patienten noch folgende Abbruchkriterien: Absinken der pulsoxymetrisch gemessenen Sauerstoffsättigung um über 35% des Ausgangswertes sowie Herzfrequenzabfall unter Belastung.

Bei allen Patienten war vor der Durchführung des Gehtests im Rahmen der allgemeinen klinischen Untersuchung der Schweregrad ihrer Erkrankung (NYHA-Stadium) bestimmt worden. Bei allen Patienten maßen wir mehrmals mit einem tragbaren Pulsoxymetergerät (Modell NBP-40 der Firma Nellcor Puritan Bennett, Irland) die arterielle Ruhe-Sauerstoffsättigung. Während des Sechs-Minuten-Gehtests wurde die Sauerstoffsättigung mit demselben Gerät kontinuierlich überwacht.

Es erfolgte bei jedem p.H.-Patienten eine standardisierte echokardiographische Untersuchung durch einen Oberarzt der kinder-kardiologischen Abteilung. Bei 10 der p.-H.-Patienten wurde während ihres Klinikaufenthaltes durch geschultes Fachpersonal der kinder-kardiologischen Abteilung eine Herzkatheteruntersuchung durchgeführt. Wir überprüften einige durch diese Maßnahmen ermittelte Werte auf Zusammenhänge mit der Sechs-Minuten-Gehstrecke der Patienten.

Abbildung 1: Teststrecke



Abbildung 2: Dokumentationsbogen**Untersuchungsprotokoll für den Sechs- Minuten- Gehstest**

Name			
Vorname			
Geburtsdatum			
Alter			
Untersuchungsdatum			
Größe			
Gewicht			
Versuchsleiter(in)			
Sport (Stunden/ Woche) Schulsport Freizeitsport			
Erkrankungen			
Raucher (Zigaretten/Tag):			
Erreichte Gehstrecke (m)			
Erschöpfung nach der Borg- Skala			
Eventuelle Dauer der Pause(n)			
Grund für Pause(n) oder Abbruch			
	vorher	nachher	Minimum
Sauerstoffsättigung			
Herzfrequenz			
Anmerkungen			

Abbildung 3: Visuelle Borg-Skala

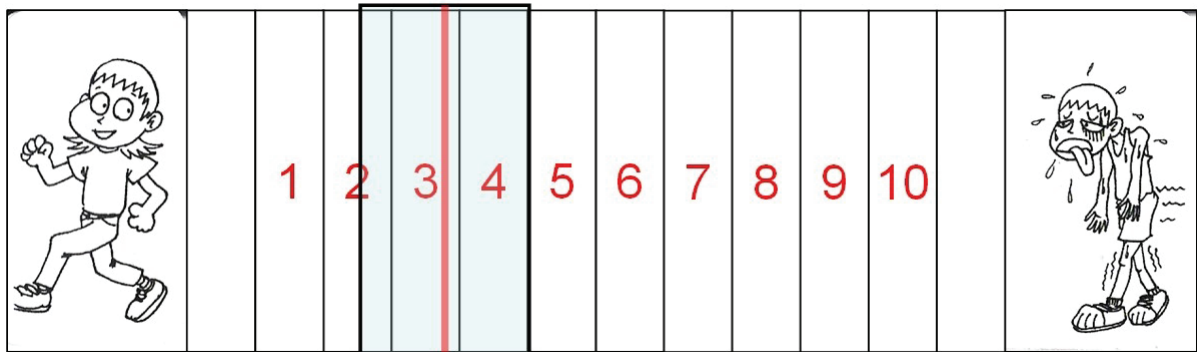


Abbildung 4: Der Sechs-Minuten-Gehtest bei einer Patientin mit p.H.



2.4. Statistik

Sämtliche Berechnungen wurden mit dem SPSS-Programm (statistical package for the social sciences), Version 14.0 für Windows, durchgeführt und in Zusammenarbeit mit dem Institut für medizinische Informatik und Biometrie der Universität Rostock interpretiert. Die Diagramme wurden mit SPSS und SigmaPlot (scientific graphing software, Version 2.0) erstellt.

Für die deskriptive Statistik, also die Ermittlung von Mittelwerten, Standardabweichungen (SD), Medianen, Minimal- und Maximalwerten sowie zur Überprüfung der erhobenen Merkmale auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) wurde die explorative Datenanalyse angewandt. Soweit nicht anders angegeben, wurden die Werte in Mittelwert \pm Standardabweichung notiert.

Für die schließende Statistik verwendeten wir folgende Tests: Die Überprüfung auf signifikante Unterschiede erfolgte bei Normalverteilung zwischen zwei bzw. mehreren zu vergleichenden Gruppen durch einen T-Test bzw. eine Varianzanalyse (ANOVA). Bei nicht normalverteilten, gepaarten Variablen verwendeten wir einen Wilcoxon-Test, bei nicht normalverteilten, ungepaarten Variablen einen Mann-Whitney-U-Test. Von einer Signifikanz wurde bei einem p-Wert $< 0,05$ ausgegangen.

Um die Korrelation verschiedener Variablen zu überprüfen, wurde bei vorliegender bzw. fehlender Normalverteilung ein Korrelationskoeffizient (r) nach Pearson bzw. Spearman-Rho berechnet. Bei bestehender Signifikanz erfolgte nach Betrag des Korrelationskoeffizienten die folgende Interpretation: $r < 0,2$ = „Sehr geringe Korrelation“; $0,2-0,5$ = „Geringe Korrelation“; $0,5-0,7$ = „Mittlere Korrelation“; $0,7-0,9$ = „Hohe Korrelation“; $> 0,9$ = „Sehr hohe Korrelation“.

3. Ergebnisse

3.1. Die Sechs-Minuten-Gehstrecke der Vergleichsgruppe

Von den 300 gesunden Vergleichspersonen, die an unseren Untersuchungen teilnahmen, erfüllten 269 alle Einschlusskriterien. 31 mussten ausgeschlossen werden, weil sie keine entsprechende Motivation gezeigt hatten (n= 10) oder weil während ihres stationären Aufenthaltes Erkrankungen diagnostiziert wurden, die Ausschlusskriterien darstellten (n= 21). Die 269 Probanden wurden in drei Altersgruppen eingeteilt, die Ergebnisse wurden zudem geschlechtsspezifisch betrachtet. Charakteristika der Probanden sowie Referenzbereiche sind in den Tabellen 2 bis 5 aufgelistet.

Tabelle 2: Charakteristika der gesunden Vergleichspersonen

Probanden	Wert/Anzahl (Mittelwert)	von-bis
Anzahl (n)	269	
Lebensalter (a)	12,6	5,5-18,9
Geschlecht (m/w)	119/150	
Größe (m)	1,54	1,07-1,93
Gewicht (kg)	46,5	17,0-88,0
BMI (kg/m ²)	18,6	13,1-25,3

Tabelle 3: Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder Jungen

Altersgruppe (a)	Gehstrecke (m)				
	n	Mittel	SD	Median	von-bis
5-7	23	626	52	620	572-709
8-13	49	725	64	719	612-870
14-18	47	746	54	757	622-840
gesamt	119	714	70	713	572-870

Tabelle 4: Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder Mädchen

Altersgruppe (a)	Gehstrecke (m)				
	n	Mittel	SD	Median	von-bis
5-7	26	620	23	622	568-694
8-13	54	713	52	721	622-829
14-18	70	700	49	704	622-858
gesamt	150	693	57	689	568-858

In den Altersgruppen war die Sechs-Minuten-Gehstrecke normalverteilt. Wir legten Referenzbereiche mit Hilfe der Mittelwerte und der jeweiligen Standardabweichungen fest. Werte zwischen dem Mittel abzüglich der 1,96-fachen Standardabweichung und dem Mittel zuzüglich der 1,96-fachen Standardabweichung wurden als Referenzwertbereich definiert.

Tabelle 5: Referenzwertbereiche für die Sechs-Minuten-Gehstrecke (in Metern) gesunder deutscher Mädchen und Jungen im Alter von 5 bis 18 Jahren

Alter (a)	5-7	8-13	14-18
Gehstrecke (m) Mädchen	575-665	612-815	604-796
Gehstrecke (m) Jungen	524-728	600-850	636-852

3.2. Ergebnisse der Wiederholungen des Sechs-Minuten-Gehtests in der Vergleichsgruppe

Der Gehstest wurde bei jedem Probanden mindestens einmal wiederholt. Im ersten Versuch erreichten die Kinder im Schnitt 692 ± 64 m, bei der Wiederholung 708 ± 70 m. Bei einer zweiten Wiederholung, an der 128 Probanden teilnahmen, wurden 707 ± 61 m (gegenüber 687 ± 62 m bzw. 696 ± 60 m in der initialen Untersuchung bzw. in der ersten Wiederholung) zurückgelegt.

Die Mehrzahl der Probanden steigerte ihre Gehstrecke vom ersten zum zweiten Versuch. Bei 197 von 269 Kindern, dies sind 73%, wurde im zweiten Versuch ein besseres Ergebnis erzielt als im ersten, nur sechs Kinder gingen zweimal exakt gleich weit, und in 66 Fällen fiel das Ergebnis des zweiten Gehstests niedriger aus als das des ersten Versuchs.

Im dritten Durchgang stieg die Gehstrecke bei 94 der 128 Probanden im Vergleich zum zweiten Durchgang nochmals an, so dass bei diesen 94 Probanden (73%) eine kontinuierliche Steigerung der zurückgelegten Wegstrecke beobachtet werden konnte. Jungen erreichten durchschnittlich 701 m im ersten und 721 m im zweiten Durchgang, was einer Steigerung um durchschnittlich knapp drei Prozent entspricht. Bei den Mädchen steigerte sich die Gehstrecke von 684 m im ersten auf 697 m im zweiten Durchgang. Diese Verbesserung entspricht zwei Prozent. Bei der Untersuchung auf signifikante Unterschiede zwischen der mittleren Sechs-Minuten-Gehstrecke des ersten und derer des zweiten Durchganges ergaben sich signifikante Unterschiede im Sinne einer Steigerung um durchschnittlich 16 ± 37 m (entspricht 2,3%; $p < 0,001$; 95%-Konfidenz-Intervall 12 m bis 21 m). Die Gehstrecke der zweiten Testwiederholung unterschied sich ebenfalls signifikant von derer der ersten Wiederholung. Im Vergleich ergab sich eine Erhöhung der durchschnittlichen Gehstrecke um 11 ± 25 Meter (entspricht 1,5%; $p < 0,001$; 95%-Konfidenz-Intervall 6 m bis 15 m).

Es konnte eine hohe Korrelation zwischen der ersten Sechs-Minuten-Gehstrecke und der Testwiederholung beobachtet werden ($r = 0,87$, $p < 0,001$). Für die Mädchen betrug der Korrelationskoeffizient $r = 0,86$ ($p < 0,001$) und für die Jungen $0,87$ ($p < 0,001$). Auch zwischen der ersten und der zweiten Wiederholung bestand bei beiden Geschlechtern eine signifikante Korrelation (Jungen: $r = 0,94$; $p < 0,001$; Mädchen: $r = 0,91$; $p < 0,001$). Zur Veranschaulichung siehe Diagramm 1 und 2.

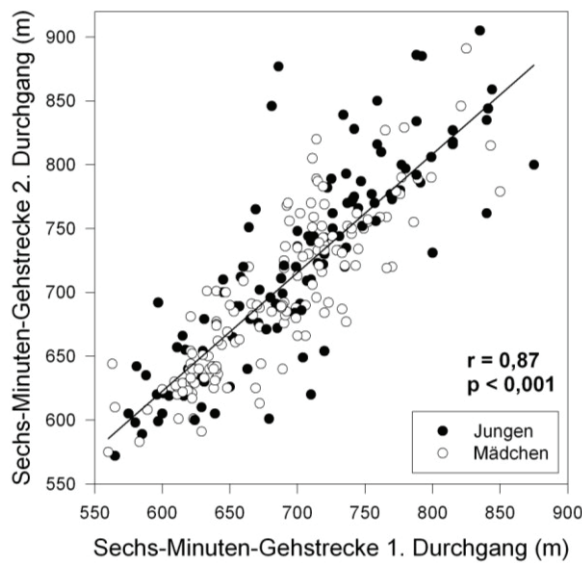


Diagramm 1: Korrelation des ersten Durchganges des Sechs-Minuten-Gehtests zum zweiten Durchgang in der Vergleichsgruppe

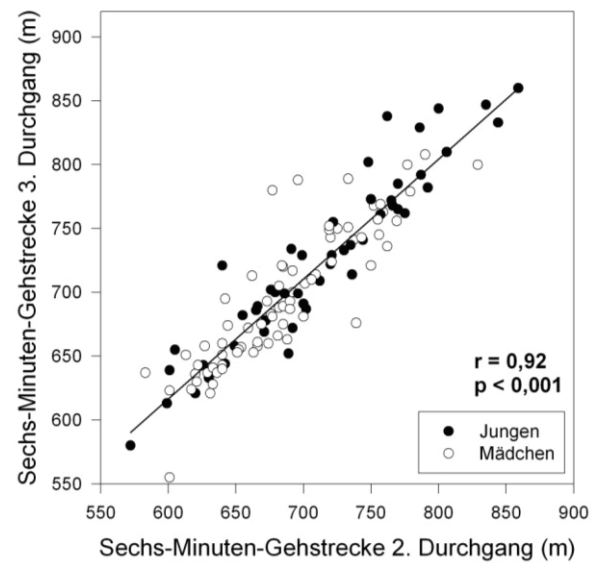


Diagramm 2: Korrelation des zweiten Durchganges des Sechs-Minuten-Gehtests zum dritten Durchgang in der Vergleichsgruppe

3.3. Vergleich mit den Ergebnissen der Fahrradspiroergometrie

Bei 42 der 81 Probanden, die an einer Fahrradspiroergometrie teilgenommen hatten, waren die Kriterien der Ausbelastung nicht erreicht, d.h. ihre Herzfrequenz war entweder nicht über 200 Schläge minus Lebensalter (in Jahren) angestiegen oder sie hatten sich offensichtlich nicht um entsprechende Mitarbeit bemüht (z.B. eigenmächtiger Abbruch der Untersuchung). Weitere fünf unserer Probanden mussten wegen technischer Probleme (z. B. undichte Atemmasken) ausgeschlossen werden.

Für die 34 Patienten, bei denen die Ergebnisse verwertbar waren, wurden vergleichende Berechnungen angestellt. Die Sechs-Minuten-Gehstrecke wurde mit der bei der Fahrradspiroergometrie erhobenen Leistung, der maximalen Sauerstoffaufnahme und der ventilatorischen anaeroben Schwelle (jeweils in % der Altersnorm) in Beziehung gesetzt.

Von den 34 Probanden wurden bei der Spiroergometrie im Mittel $100 \pm 13\%$ des jeweiligen Referenzwertes für die maximale Leistung (in W/kg KG) erreicht. Jungen (n= 12) erbrachten eine durchschnittliche Leistung von $93 \pm 7\%$ des Referenzwertes, Mädchen (n= 22) $103 \pm 14\%$

des Referenzwertes. Die mittlere Gehstrecke dieser 34 Probanden war 712 ± 50 m (724 ± 54 m bei Jungen und 705 ± 47 m bei Mädchen) und lag bei allen innerhalb des für die Altersgruppen berechneten Referenzbereiches.

Es ergab sich keine Korrelation zwischen Sechs-Minuten-Gehstrecke und Leistung (in % der Altersnorm) bei der Fahrradspiroergometrie ($r = 0,04$, $p = 0,82$).

Die durchschnittliche maximale Sauerstoffaufnahme unserer Probanden betrug $89 \pm 13\%$ des Referenzwertes. Betrachtet man die Geschlechter getrennt, so erreichten die Jungen im Mittel $38,3 \pm 3,0$ ml/kg/min oder $85 \pm 8\%$ der Altersnorm und die Mädchen $31,5 \pm 4,6$ ml/kg/min, was $91 \pm 14\%$ der Altersnorm entspricht. Im Gehstest wurden von diesen 34 Probanden durchschnittlich 712 ± 50 m erreicht (s.o.). Es zeigte sich keine signifikante Korrelation der Sechs-Minuten-Gehstrecke mit der maximalen Sauerstoffaufnahme während der Fahrradspiroergometrie ($r = 0,09$; $p = 0,61$).

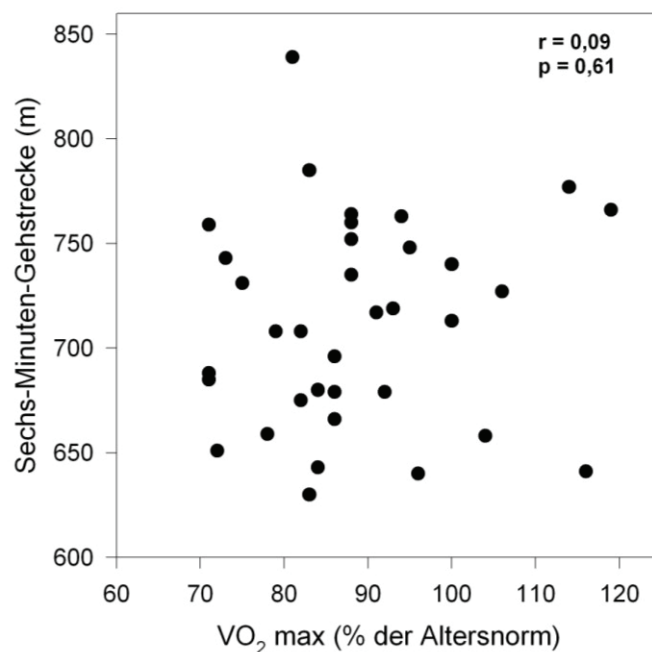


Diagramm 3: Fehlende Korrelation der maximalen Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradspiroergometrie zur Sechs-Minuten-Gehstrecke

Bei 32 Probanden konnte eine ventilatorische anaerobe Schwelle festgelegt werden. Sie lag bei durchschnittlich $21,2 \pm 4,4$ ml/kg/min und damit bei $91 \pm 26\%$ der Referenzwerte. Die elf

Jungen hatten eine anaerobe Schwelle von $23,0 \pm 5,0$ ml/min/kg oder $97 \pm 38\%$ der jeweiligen Altersnorm, bei den 21 Mädchen konnte eine anaerobe Schwelle von $20,3 \pm 3,8$ ml/min/kg oder $88 \pm 17\%$ der entsprechenden Altersnorm bestimmt werden. Zwischen der Gehstrecke und der anaeroben Schwelle wurde keine signifikante Korrelation nachgewiesen ($r= 0,31$; $p= 0,09$).

3.4. Abhängigkeit des Sechs-Minuten-Gehtests von Alter und Körpermaßen der Probanden

Des Weiteren untersuchten wir die Gehstrecke auf eventuelle Abhängigkeit von Alter, Körpergröße, Gewicht und Body-Mass-Index der gesunden Probanden ($n= 269$).

Das Lebensalter unserer Probanden betrug durchschnittlich $12,6 \pm 3,9$ Jahre und korrelierte signifikant, aber geringfügig mit der Sechs-Minuten-Gehstrecke ($r= 0,46$, $p < 0,001$). Bei den Mädchen errechnete sich ein r von $0,37$ ($p < 0,001$), bei den Jungen ein r von $0,60$ ($p < 0,001$). Eine Veranschaulichung gibt Diagramm 4.

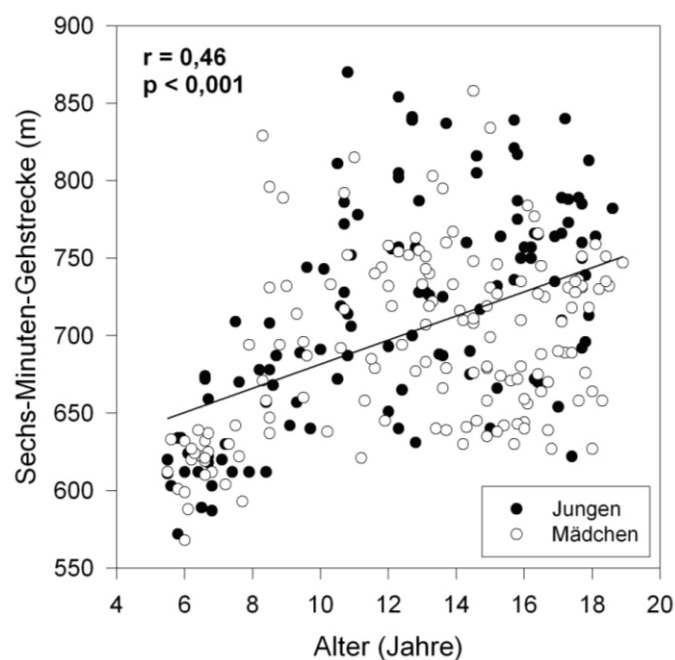


Diagramm 4: Korrelation des Alters zur Sechs-Minuten-Gehstrecke in der Vergleichsgruppe

Unsere Probanden waren im Durchschnitt $1,54 \pm 0,20$ m groß (Mädchen $1,53 \pm 0,19$ m, Jungen $1,56 \pm 0,22$ m). Körpergröße und Gehstrecke korrelierten signifikant und mittelmäßig ($r = 0,53$; $p < 0,001$). Siehe dazu auch Diagramm 5. Es ergab sich für die weiblichen Probanden ein r von $0,45$ ($p < 0,001$), für die männlichen Probanden ein r von $0,60$ ($p < 0,001$).

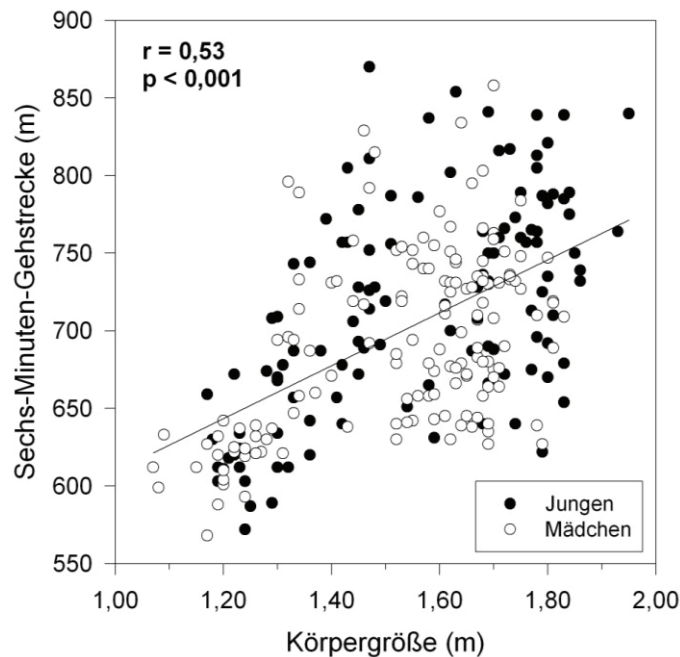


Diagramm 5: Korrelation der Körpergröße zur Sechs-Minuten-Gehstrecke in der Vergleichsgruppe

Das mittlere Körpergewicht der Probanden betrug $46,5 \pm 18$ kg (Mädchen $46,1 \pm 16$ kg, Jungen $47,0 \pm 20$ kg). Zur Sechs-Minuten-Gehstrecke zeigte sich eine signifikante, aber geringe Korrelation ($r = 0,49$; $p < 0,001$, Jungen: $r = 0,59$; $p < 0,001$, Mädchen: $r = 0,38$; $p < 0,001$).

Der BMI betrug durchschnittlich $18,6 \pm 3,1$ kg/m² (Jungen $18,4 \pm 3,3$ kg/m², Mädchen $18,8 \pm 3,0$ kg/m²). Es konnte eine geringe, aber signifikante Korrelation zum Sechs-Minuten-Gehtest festgestellt werden ($r = 0,38$, $p < 0,001$, Jungen: $0,48$; Mädchen: $r = 0,30$; p jeweils $< 0,001$).

3.5. Abhängigkeit des Sechs-Minuten-Gehtests von weiteren Parametern

Wie oben beschrieben, wurde zur Einschätzung des subjektiven Erschöpfungsgrades eine modifizierte Borg-Skala verwendet. Unter den 269 Probanden befanden sich 17 Kinder, die zu jung waren, um verwertbare Angaben machen zu können.

Durchschnittlich wurde von den 252 Befragten nach dem Sechs-Minuten-Gehtest ein Wert von $3,3 \pm 1,7$ auf der Borg-Skala angegeben. Nach dem ersten Durchgang wählten die Probanden im Mittel $3,3 \pm 1,8$, nach dem zweiten $3,3 \pm 1,7$ und nach dem dritten - hier handelte es sich um 115 Kinder - einen Wert von $3,5 \pm 1,7$. Nach dem ersten Durchgang wurden von 65 Kindern (dies entspricht 24%) Werte von 5 und darüber angegeben. Nach dem zweiten Durchgang wählten 67 Kinder (dies entspricht 25%) Zahlen größer oder gleich 5. Die subjektiv empfundene Belastung korrelierte nicht mit der zurückgelegten Wegstrecke. Der Korrelationskoeffizient lag für die erste Untersuchung bei $-0,02$ ($p= 0,75$), bei der ersten Wiederholung ergab sich ein Korrelationskoeffizient r von $-0,002$ ($p= 0,98$) und bei der zweiten Wiederholung von $0,09$ ($p= 0,34$).

Sechssundsiebzig der insgesamt 81 Kinder, die neben dem Gehtest auch eine Fahrradspiroergometrie ausgeführt hatten, nannten den Gehtest als angenehmere Testvariante. Dies entspricht 95% der Befragten. Als Begründung führten sie zumeist an, letzteren als weniger anstrengend empfunden zu haben. Als weiterer Vorteil wurde von einigen auch die kürzere Dauer des Gehtests genannt.

Die Probanden wurden für die statistische Auswertung entsprechend ihrer sportlichen Aktivität in drei Gruppen eingeteilt. Dabei umfasste die erste Gruppe diejenigen Vergleichspersonen, die überhaupt keinen Sport trieben ($n= 10$), die zweite Gruppe Kinder und Jugendliche mit bis zu drei Stunden pro Woche, was in etwa dem Pensum des Schulsports entspricht ($n= 192$) und die dritte Gruppe Probanden mit drei bis acht Stunden körperlicher Betätigung pro Woche ($n= 67$). Die Sechs-Minuten-Gehstrecke wurde auf Abhängigkeit von der sportlichen Aktivität hin überprüft. Probanden, die keinen Sport trieben, erreichten eine mittlere Gehstrecke von 626 ± 20 m, diejenigen, die bis zu drei Stunden sportlich aktiv waren, 698 ± 61 m. Die Probanden, die zusätzlich zum Schulsport noch bis zu fünf Stunden Freizeitsport trieben, legten im Mittel 724 ± 69 m zurück. Zwischen der anamnestisch erfragten sportlichen Aktivität im Alltag und der Gehstrecke konnten signifikante, wenn auch geringe Zusammenhänge ermittelt werden ($r= 0,25$, $p<0,001$). Die Korrelation zwischen sportlicher Aktivität und Sechs-Minuten-Gehstrecke war bei den Jungen

deutlicher ausgeprägt als bei den Mädchen ($r=0,28$, $p=0,002$ für Jungen, $r=0,16$, $p=0,04$ für Mädchen). Ein Mittelwertvergleich zeigte, dass die Probanden mit 8 Stunden Sport pro Woche eine signifikant höhere Gehstrecke zurücklegten als die beiden anderen Gruppen ($p<0,009$). Auch zwischen den Probanden, die bis zu 3 Stunden Sport trieben und denjenigen ohne sportliche Betätigung bestand ein signifikanter Unterschied ($p<0,001$).

3.6. Ergebnisse bei Patienten mit pulmonaler Hypertension

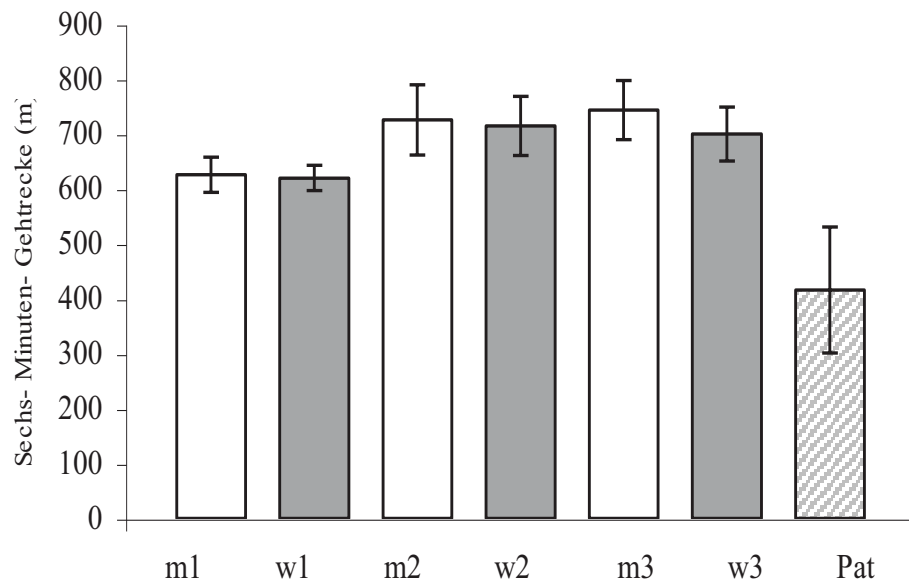
Es wurden 13 Patienten mit pulmonaler Hypertension unterschiedlicher Genese untersucht. Als Grunderkrankungen lagen Ventrikelseptumdefekte, komplette atrioventrikuläre Septumdefekte, Transposition der großen Arterien oder singuläre Ventrikel vor. Das durchschnittliche Lebensalter der Patienten betrug $14,3 \pm 3,8$ Jahre. Die jüngste Patientin war acht, die älteste 23 Jahre alt. Da bei letzterer ein Down-Syndrom mit deutlichem psychomotorischem Entwicklungsrückstand bekannt war, haben wir die für sie erhobenen Werte mit den Referenzwerten für Kinder der Altersgruppe 14 bis 18 Jahre verglichen. Einzelne Parameter der Patienten sind Tabelle 6 zu entnehmen. Pro Patient lagen zwischen einem und sechs Mittelwerte von Untersuchungen zu verschiedenen Zeitpunkten vor. Von acht der 13 Patienten waren mindestens drei Ergebnisse von an verschiedenen Untersuchungsterminen durchgeführten Sechs-Minuten-Gehtests verwertbar.

Die durchschnittliche Gehstrecke aller p.-H.-Patienten betrug 416 ± 110 m (Median 408 m). Dieser Durchschnitt wurde aus den Gehstrecken des ersten Untersuchungszeitpunktes ermittelt. Die Spannweite der Sechs-Minuten-Gehstrecken war mit Werten zwischen 225 m und 592 m groß. Verglichen mit dem Mittelwert der entsprechenden Altersgruppe war die Gehstrecke der Patienten um 297 ± 106 m niedriger. Durchschnittlich wich sie um $-5,8 \pm 2,2$ Standardabweichungen (SD) vom altersentsprechenden Mittelwert ab. Keiner der Patienten erreichte einen Wert im Referenzbereich ($>-1,96SD$). Der Mittelwert lag folglich signifikant unterhalb des Referenzbereiches ($p<0,001$). Siehe dazu Diagramm 6.

Tabelle 6: Charakteristika der p.-H.-Patienten

Name	Y.B.	S.B.	J.M.	C.K.	M.S.	M.H.	K.A.	N.J.	J.S.	L.H.	M.K.	F.M.	M.R.
Alter (a)	23	15	10	12	16	13	15	15	8	13	17	15	10
Geschlecht	w	w	w	w	m	w	w	w	w	w	m	w	w
Diagnose	AVK	VSD	VSD	TGA, SV	AVK	VSD	VSD	TGA	VSD	VSD	TGA, SV	AVK	VSD
Nebendia.	T21	m.R.	Dys	AV3	T21	DGS	AEP	SFS	gAS	b.H.	m.R.	T21	gAS
Körpergröße (m)	1,50	1,51	1,17	1,54	1,45	1,50	1,45	1,67	1,25	1,65	1,78	1,42	1,31
Gewicht (kg)	63	49	15	44	45	49	62	56	27	46	53	46	28
NYHA	3	3	3	2	3	3	3	2	1	2	2	2	3
6-MGSTR	225	277	363	553	387	488	277	471	592	456	558	408	350
O ₂ -Sättig.	≤80	≤80	≤90	≤90	≤90	≤90	≤90	≤100	≤100	≤90	≤90	≤80	≤80
Sätt.-Abf.	24	38	26	20	33	21	37	11	15	33	38	27	40
Borg-Sk.	k.A.	k.A.	5	5	k.A.	5	10	5	4	6	6	k.A.	k.A.
P _{pa/sys}	k.M.	0,9	1,1	k.M.	0,97	k.M.	0,83	k.M.	0,28	0,96	0,91	0,81	0,97
R _{ap} (WE)	k.M.	22,9	13,2	k.M.	k.M.	k.M.	23,8	k.M.	2,8	33	k.M.	32	28,4
TI	j	j	n	n	j	n	j	j	j	j	n	j	k.M.
RVV	v	v	v	n.v.	v	v	v	v	n.v.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.
Hk (%)	64	60	58	53	55	49	46	47	39	49	61	51	56

a: Jahre; AEP: Alkoholembryopathie; AVK: Atrioventrikular-Kanal (kompletter atrioventrikulärer Septumdefekt), AV3: AV-Block dritten Grades, b.H.: brachiocephale Hypertonie, DGS: DiGeorge-Syndrom, Dys: Dystrophie, gAS: geringgradige Aortenstenose, Hk: Hämatokrit (in Prozent), j/n: ja/nein, k.A: keine Angaben KG: Körpergewicht (in Kilogramm), k.M.: keine Messung, m/w: männlich/weiblich, n.v.: nicht verdickt, m.R.: mentale Retardierung, 6-MGSTR: Sechs-Minuten-Gehstrecke, Nebendia.: Nebendiagnose, NYHA: New York Heart Association, O₂-Sättig.: Sauerstoffsättigung (in Prozent), P_{pa/sys}: Verhältnis pulmonal-arterieller zu systemischem Druck, R_{ap}: pulmonal-arterieller Widerstand, RVV: Verdickung der rechtsventrikulären Vorderwand, Sätt.-Abf.: Abfall der Sauerstoffsättigung unter Belastung (in Prozent des Ausgangswertes), SFS: Sinusknotenfunktionsstörung, SV: singulärer Ventrikel, T21: Trisomie 21, TGA: Transposition der großen Arterien, TI: Trikuspidalinsuffizienz, VSD: Ventrikelseptumdefekt, WE: Wood-Einheiten



m1: Jungen Altersgruppe 1 (5-7 Jahre)
 m2: Jungen Altersgruppe 2 (8-13 Jahre)
 m3: Jungen Altersgruppe 3 (14-18 Jahre)

w1: Mädchen Altersgruppe 1 (5-7 Jahre)
 w2: Mädchen Altersgruppe 2 (8-13 Jahre)
 w3: Mädchen Altersgruppe 3 (14-18 Jahre)
 Pat: Patienten mit pulmonaler Hypertension

Diagramm 6: Mittlere Sechs-Minuten-Gehstrecke aus 2 bzw. 3 Durchgängen in der Vergleichsgruppe und bei p.-H.-Patienten

Der Sechs-Minuten-Gehtest wurde auch bei den p.-H.-Patienten nach einer Ruhepause von mindestens einer Stunde wiederholt. Wie bei den gesunden Probanden diente der Mittelwert aus beiden Durchgängen als Ergebnis des Tests.

Im ersten Durchgang erreichten die Patienten durchschnittlich 391 ± 116 m. Die 10 Patienten, die an einer Testwiederholung teilnehmen konnten, hatten im ersten Durchgang 395 ± 125 m erreicht. Im zweiten Durchgang legten sie im Mittel 419 ± 135 m zurück. Die Differenz zwischen diesen beiden Durchgängen (durchschnittlich 24 ± 45 m, entspricht 6%) war nicht signifikant ($p = 0,12$). Bei der zweiten Wiederholung ($n = 6$) wurden von den Patienten zwischen 240 und 542 m zurückgelegt, im Mittel 376 ± 125 m (gegenüber 373 ± 125 m bei der ersten Wiederholung). Ein Mittelwertvergleich zwischen der ersten und der zweiten Testwiederholung war wegen der geringen Gruppengröße nicht sinnvoll. Bei zwei Patienten mussten wegen Dyspnoe bzw. starken Absinkens der Oxygenierung Pausen zwischen 40s und

zwei Minuten Dauer eingelegt werden. Ein Abbruch der Untersuchungen war bei den in unsere Berechnungen einbezogenen Tests (d.h. zum ersten Untersuchungszeitpunkt) nicht notwendig. Insgesamt wurden bei unseren Patienten zu unterschiedlichen Zeitpunkten 74 Sechs-Minuten-Gehtests durchgeführt, von denen drei (4%) vorzeitig beendet werden mussten. Die Sechs-Minuten-Gehtests ab dem zweiten Untersuchungszeitpunkt dienten der Verlaufskontrolle und wurden nicht in die Berechnungen einbezogen.

Es wurde eine sehr hohe Korrelation zwischen der Sechs-Minuten-Gehstrecke des ersten und der des zweiten Versuchs ($r = 0,94$, $p < 0,001$) festgestellt. Siehe hierzu Diagramm 7. Wegen der geringen Gruppengröße wurde auf eine Korrelationsanalyse zwischen der ersten und der zweiten Wiederholung verzichtet.

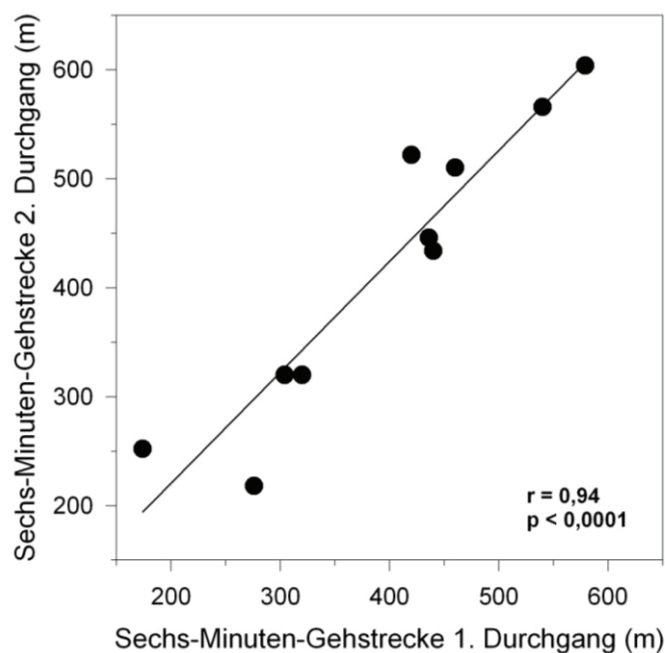


Diagramm 7: Korrelation zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang des Sechs-Minuten-Gehtests bei p.-H.-Patienten

Auch auf Abhängigkeit vom NYHA-Stadium hin wurde der Gehtest untersucht. Unsere einzige Patientin im Stadium eins gemäß der Klassifikation der New York Heart Association erreichte im Sechs-Minuten-Gehtest 592 m. Die Patienten im Stadium zwei ($n = 5$) konnten im Mittel 485 ± 40 m (Median 480 m, Minimum 440 m, Maximum 549 m) zurücklegen, während diejenigen im Stadium drei ($n = 7$) nur auf 317 ± 79 m (Median 312 m, Minimum 225 m,

Maximum 449 m) kamen. Über eine bivariate Korrelationsanalyse nach Pearson wurde ein signifikanter, hoher negativer Zusammenhang zwischen dem NYHA-Stadium und der erreichten Gehstrecke festgestellt ($r = -0,85$, $p < 0,001$). Zur Veranschaulichung siehe Diagramm 8. Ein Mittelwertvergleich war wegen der geringen Gruppengröße nur zwischen den NYHA-Stadien 2 und 3 sinnvoll. Der Unterschied zwischen diesen Mittelwerten war signifikant ($p = 0,001$).

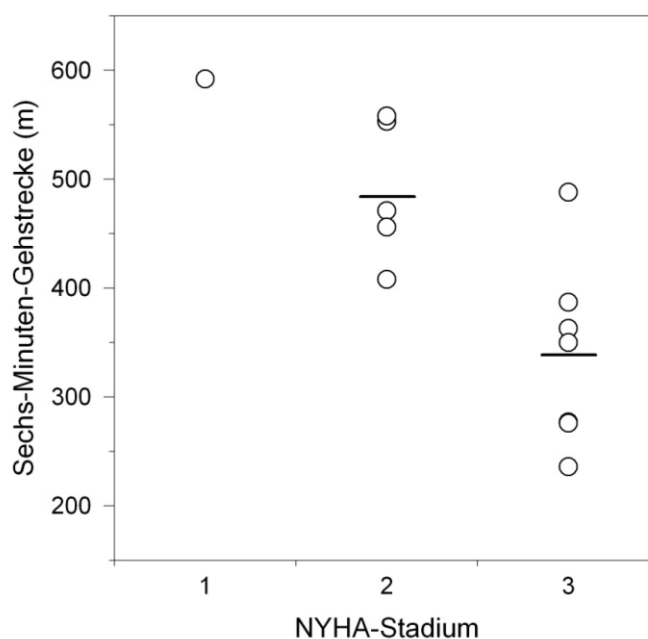


Diagramm 8: Abhängigkeit der Gehstrecke vom NYHA-Stadium (○ Einzelwerte, — Mittelwerte)

Nach jedem Gehstest wurden die Patienten nach dem Grad ihrer subjektiv empfundenen Erschöpfung befragt. Dazu wurde dieselbe modifizierte Borg-Skala verwendet wie bei der Referenzgruppe. Allerdings war der Prozentsatz der Kinder, die mit Hilfe dieser Skala keine Angaben machen konnten, in der Patientengruppe mit fünf (entsprechend 38%) höher.

Durchschnittlich schätzten die p.-H.-Patienten ihre Erschöpfung mit 5,6 auf der Borg-Skala ein. Nach dem ersten Sechs-Minuten-Gehtest gaben die Patienten durchschnittlich $5,8 \pm 1,8$ auf der Borg-Skala (Median 5,0; Werte zwischen 4 und 10) an, nach dem zweiten Test $6,5 \pm 2,3$ (Median 6,00; Werte zwischen 4 und 10). Zahlen über fünf wurden von den Patienten häufiger gewählt als von den Gesunden: Nach dem ersten Versuch von sieben der

acht (dies sind 88%), nach dem zweiten Versuch von fünf der acht Patienten (dies sind 63%). Zwischen dem angegebenen Wert auf der Borg-Skala und der im Sechs-Minuten-Gehtest zurückgelegten Distanz konnte kein Zusammenhang ermittelt werden ($r = -0,24$, $p = 0,47$).

Es konnten für die Patienten keine Berechnungen angestellt werden, die Fahrradspiroergometrie-Ergebnisse mit erreichten Gehstrecken verglichen, weil nur für drei Patienten Ergebnisse von fahrradergometrischen Untersuchungen vorlagen. Von diesen drei Patienten mussten zwei die Untersuchung vorzeitig beenden. Bei den übrigen p.-H.-Patienten bestanden Kontraindikationen zur Durchführung einer Spiroergometrie.

Der Gehtest wurde auch bei den p.-H.-Patienten auf Abhängigkeit von Alter und Körpermaßen hin untersucht.

Für das Lebensalter in Bezug auf die Sechs-Minuten-Gehstrecke zeigte sich bei den p.-H.-Patienten keine statistisch signifikante Korrelation ($r = -0,35$, $p = 0,25$). Siehe dazu Diagramm 9.

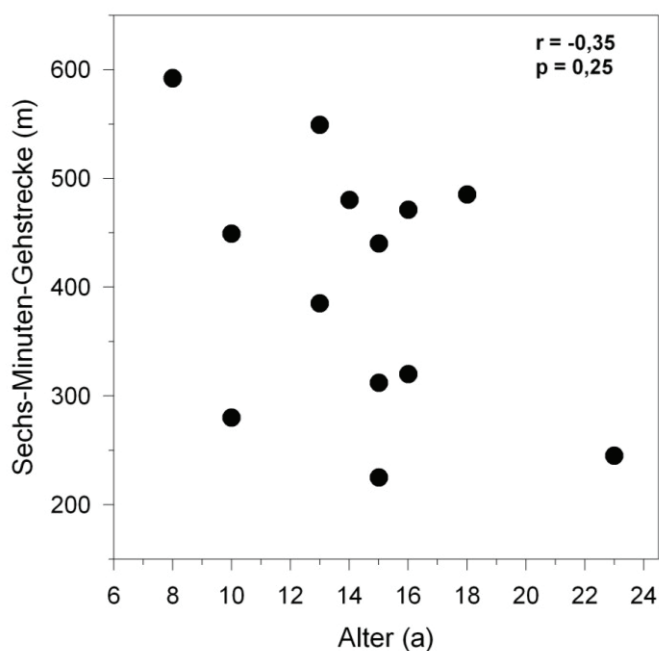


Diagramm 9: Fehlende Korrelation des Alters zur Sechs-Minuten-Gehstrecke bei p.-H.-Patienten

Durchschnittlich waren die p.-H.-Patienten $1,48 \pm 0,17$ m groß. Die Sechs-Minuten-Gehstrecke der Patienten korrelierte nicht signifikant mit ihrer Körpergröße ($r = 0,24$, $p = 0,42$). Zur Veranschaulichung dient Diagramm 10.

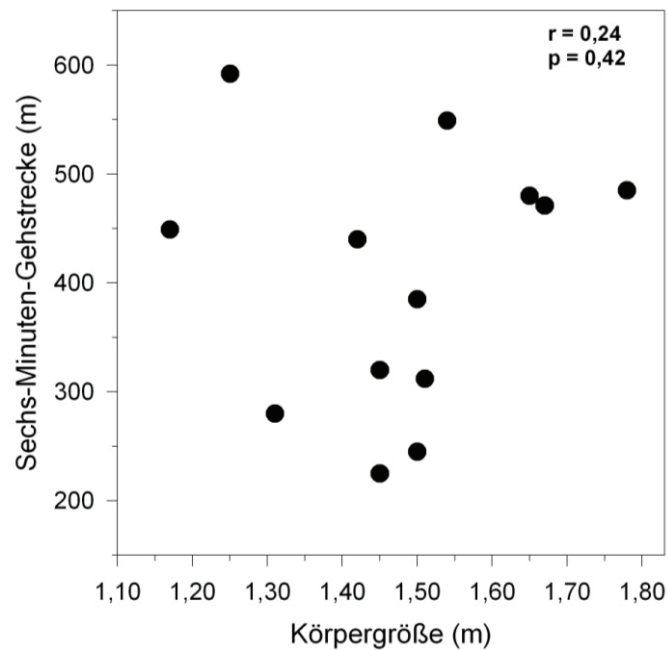


Diagramm 10: Fehlende Korrelation der Körpergröße zur Sechs-Minuten-Gehstrecke bei p.-H.- Patienten

Wir untersuchten auch die Abhängigkeit der Gehstrecke der p.-H.-Patienten von der Ruhe-Sauerstoffsättigung und dem prozentualen Abfall der Sättigung während der Untersuchung. Im Mittel lag die Ruhe-Sauerstoffsättigung bei $79 \pm 10\%$ (zwischen 61 und 97%). Zwei der Patienten hatten eine gute Sauerstoffsättigung von 90% und darüber, sieben Patienten lagen mit der O_2 -Sättigung zwischen 80 und 89% und vier hatten eine stark verminderte Ruhe-Sauerstoffsättigung unter 79%. Es konnte eine hohe, signifikante Korrelation der Sechs-Minuten-Gehstrecke mit der Sauerstoffsättigung unter Ruhebedingungen ($r = 0,76$, $p = 0,003$) festgestellt werden. Siehe dazu Diagramm 11.

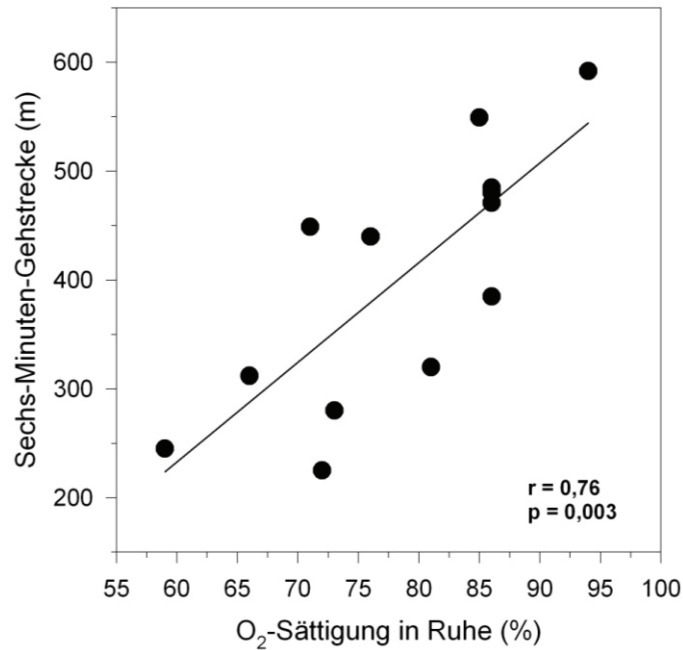


Diagramm 11: Korrelation der Ruhe-Sauerstoffsättigung zur Sechs-Minuten-Gehstrecke

Während der Gehstests maßen wir die Sauerstoffsättigung kontinuierlich mit einem tragbaren Pulsoxymetergerät. Der prozentuale Abfall der Sättigung (bezogen auf den unter Ruhebedingungen gemessenen basalen Wert) betrug durchschnittlich $27 \pm 11\%$ (zwischen 5 und 46% des Ruhe-Sättigungswertes). Zwischen dem Abfall der prozentualen Sauerstoffsättigung unter Belastung und der Sechs-Minuten-Gehstrecke bestand keine signifikante Korrelation ($r = -0,28$, $p = 0,36$).

Die Laboruntersuchung ergab bei den p.-H.-Patienten einen mittleren Hämatokrit von $53 \pm 7\%$. Es bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen Gehstrecke und Hämatokrit der Patienten ($r = -0,26$, $p = 0,38$).

Bei 7 der 13 p.-H.-Patienten wurde echokardiographisch eine verdickte rechtsventrikuläre Vorderwand ermittelt. Diese Patienten erreichten im Sechs-Minuten-Gehtest durchschnittlich 344 ± 95 m. Die Patienten mit normaler Vorderwanddicke ($n = 4$) konnten durchschnittlich 527 ± 54 m zurücklegen. Zwischen der Dicke der rechtsventrikulären Vorderwand und der Gehstrecke wurde eine hohe inverse Korrelation ($r = -0,84$, $p = 0,001$) errechnet. Siehe hierzu auch Diagramm 12.

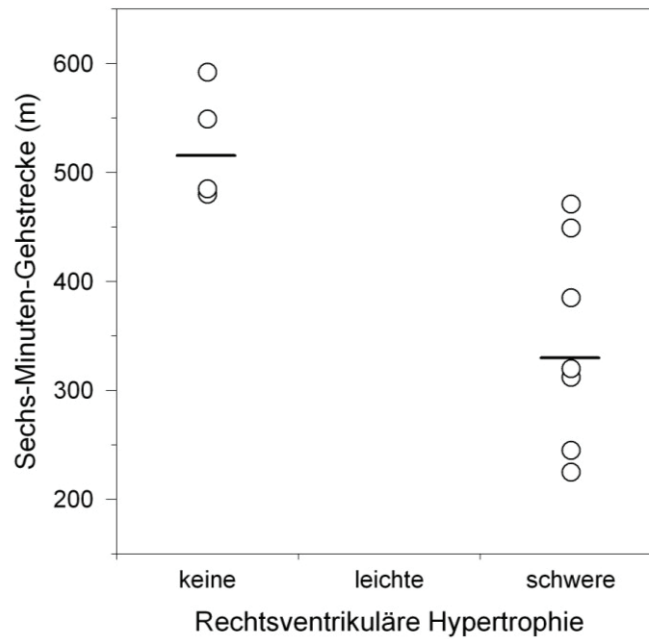


Diagramm 12: Korrelation der rechtsventrikulären Hypertrophie zur Sechs-Minuten-Gehstrecke (○ Einzelwerte, — Mittelwerte)

Eine erstgradige Trikuspidalinsuffizienz wurde bei 8 unserer Patienten festgestellt. Zwischen diesem Klappenvitium und der Gehstrecke ergab sich keine Korrelation ($r=0,36$, $p=0,25$).

Das während der Herzkatheteruntersuchung bei 9 Patienten ermittelte Verhältnis zwischen pulmonal-arteriellem und systemischem Druck ergab einen durchschnittlichen Quotienten von $0,86 \pm 0,23$ (Median 0,91). Die Werte lagen zwischen 0,28 und 1,1 und korrelierten nicht mit der Gehstrecke ($r=-0,17$, $p=0,67$).

Bei sieben p.-H.-Patienten wurde invasiv der pulmonal-arterielle Gefäßwiderstand gemessen. Dieser Widerstand betrug zwischen 2,8 und 33 Wood-Einheiten (Mittel 22; Median 24 WE) und korrelierte nicht signifikant mit der erreichten Sechs-Minuten-Gehstrecke ($r=0,21$, $p=0,65$).

4. Diskussion

Mit der vorliegenden Studie sollte die Anwendbarkeit des Sechs-Minuten-Gehtests zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen mit pulmonaler Hypertension untersucht werden. Die Erhebung von Referenzwerten für die Sechs-Minuten-Gehstrecke im Kindesalter stellte hierfür eine wichtige Voraussetzung dar, da das Ausmaß einer Belastungseinschränkung sich nicht ohne verlässliche Bezugsgrößen beurteilen lässt und Referenzwerte für die Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder Kinder zum Zeitpunkt unserer Untersuchungen noch nicht vorlagen. Diese Referenzwerte wurden erst im Jahr 2007 veröffentlicht (55;87;91). Es fanden sich zwar in der Literatur zahlreiche Arbeiten über die Anwendung des Sechs-Minuten-Gehtests im Erwachsenenalter, allerdings ließen sich die Angaben zur Vorhersage der Leistungen im Sechs-Minuten-Gehtest wegen der großen physiologischen und psychischen Unterschiede nicht auf Kinder und Jugendliche übertragen. Dazu kam, dass die Angaben über normale Gehstrecken gesunder Erwachsener stark variieren (24;48;57;64;81;102;122;145).

4.1. Testwiederholungen

Es konnte bei unseren gesunden Probanden in allen Altersgruppen eine signifikante Steigerung der Sechs-Minuten-Gehstrecke im Verlauf der Testwiederholungen beobachtet werden. Vergleichbare Beobachtungen wurden bereits von zahlreichen Autoren gemacht und sind wohl vor allem auf Übungeffekte zurückzuführen (40;57;61;65;85;89). Einerseits könnten die Probanden während des ersten Durchganges gelernt haben, eine möglichst geschickte Technik zur Steigerung der Gehgeschwindigkeit anzuwenden, andererseits könnte ein gewisser Ehrgeiz, im zweiten Versuch mindestens dieselbe Leistung zu erbringen wie im ersten, durch Steigerung der Motivation zu einem besseren Ergebnis geführt haben.

Einige Autoren empfehlen als Konsequenz aus den signifikanten Unterschieden zwischen den Anfangsuntersuchungen und den Wiederholungen des Sechs-Minuten-Gehtests mindestens einen Probelauf, der nicht in die Ermittlung der durchschnittlichen Gehstrecke einbezogen wird (11;46;81;82). In anderen Studien wird die bei wiederholter Durchführung des Tests größte Gehstrecke als tatsächliches Ergebnis gewertet (24). Wir haben zur Referenzwerterhebung das arithmetische Mittel aus zwei bzw. drei Sechs-Minuten-Gehstrecken verwendet. Wichtig ist bei der Anwendung in der Praxis, dass der tatsächlich als

Ergebnis des Gehstests herangezogene Wert auf dieselbe Art und Weise gewonnen wird wie der jeweilige Referenzwert.

Trotz der signifikanten Unterschiede korrelierten die initiale Untersuchung und die Testwiederholungen bei unseren Probanden sehr gut miteinander. Daraus lässt sich schließen, dass von denjenigen Probanden, die im ersten Sechs-Minuten-Gehtest ein hochnormales Ergebnis erzielten, auch bei den Testwiederholungen hochnormale Gehstrecken erwartet werden können und umgekehrt. Dies stellten auch Li und Kollegen fest; in ihrer Studie wurde eine gute Reproduzierbarkeit des Sechs-Minuten-Gehtests im Kindesalter erwiesen (92).

4.2. Ergebnisse des Sechs-Minuten-Gehtests bei Gesunden

Unsere Untersuchungen ergaben eine durchschnittliche Sechs-Minuten-Gehstrecke von 704 Metern. Im Jahr 2007 erarbeiteten Lammers, Geiger und Li unabhängig voneinander Referenzwerte für die Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder Kinder (55;87;91). Diese drei Studien ergaben niedrigere mittlere Sechs-Minuten-Gehstrecken als unsere Arbeit. Da von allen in unsere Analysen mit einbezogenen Parametern die Körpergröße den stärksten Einfluss auf die Ergebnisse des Sechs-Minuten-Gehtests ausübte und unsere Testpersonen mit durchschnittlich 1,54 m fünf bis 24 Zentimeter größer waren als diejenigen der anderen Autoren, ist dies als Hauptursache für die höhere Gehstrecke unserer Probanden anzusehen. Auch mit dem Lebensalter korreliert die Sechs-Minuten-Gehstrecke signifikant. Daher fiel die von Lammers an vier- bis elfjährigen Probanden erhobene Sechs-Minuten-Gehstrecke mit 471 m deutlich niedriger aus. Ein weiterer Grund für die höhere Sechs-Minuten-Gehstrecke unserer Probanden ist die längere Teststrecke. Auf unserer 80 m langen Teststrecke mussten die Kinder seltener das Tempo verringern, um am Ende des Flures zu wenden als auf den 20 bis 50 Meter langen Strecken der anderen Untersuchungen.

Da von uns wie schon in einigen vorausgegangenen Publikationen eine Korrelation der Sechs-Minuten-Gehstrecke mit der Körperlänge festgestellt werden konnte, ist letztere als Hauptursache für die größere Gehstrecke der Jungen anzusehen, besonders in der Altersgruppe ab 14 Jahren (24;93). Die 14- bis 18-jährigen Jungen waren im Mittel 1,77 m groß und erreichten eine um 46 Meter bzw. 7% höhere Gehstrecke als gleichaltrige Mädchen, die im Schnitt 1,67 m groß waren. Umgekehrt unterschieden sich die Ergebnisse der kleinen Jungen der Altersgruppe bis sieben Jahre nicht wesentlich von denjenigen der gleichaltrigen Mädchen. In dieser Gruppe betrug der Größenunterschied lediglich 4 cm, die Differenz der

Gehstrecken durchschnittlich 6 Meter bzw. 1%. Sicherlich spielt für das Ergebnis des Sechs-Minuten-Gehtests die postpubertär größere Muskelmasse der Jungen und ihre damit höhere körperliche Leistungsfähigkeit auch eine Rolle, diese ließ sich aber im Rahmen unserer Untersuchungen nicht quantifizieren.

Auffällig ist, dass in der Vergleichsgruppe bei beiden Geschlechtern die Gehstrecke mit zunehmendem Lebensalter zunächst ansteigt. Bei den Jungen setzt sich diese Steigerung auch in der Gruppe der über 14-Jährigen weiter fort, während die Gehstrecke der 14- bis 18-jährigen Mädchen mit 700 m etwas niedriger ausfällt als diejenige der etwas jüngeren Mädchen (siehe Diagramm 6, Kapitel 3.6, Seite 35).

Geiger und Mitarbeiter beobachteten bei ihrer Referenzwerterhebung ebenfalls einen kontinuierlichen Anstieg der Sechs-Minuten-Gehstrecke mit zunehmendem Alter bei Jungen, wohingegen die Gehstrecke der Mädchen ein Plateau erreichte und nicht weiter anstieg (55).

Eine mögliche Erklärung dafür könnte der besonders bei Mädchen im Laufe der Pubertät nachlassende natürliche Bewegungsdrang mit daraus resultierendem schlechterem Trainingszustand darstellen. Oft wird beobachtet, dass Mädchen sich mit zunehmendem Alter stärker als Jungen einem gewissen Rollenverständnis gemäß verhalten und dass ihre körperliche Aktivität dadurch eher etwas nachlässt (109;151). Für diese Annahme spricht auch, dass bei den Mädchen die Korrelation sowohl der Körpergröße als auch des Lebensalters zur Sechs-Minuten-Gehstrecke weniger ausgeprägt ist als bei den Jungen ($r = 0,37$ bzw. $0,45$ versus $r =$ jeweils $0,60$). Die Referenzwerte für die Spiroergometrie fallen bei Mädchen dieser Altersgruppe ebenfalls leicht niedriger aus als diejenigen der jüngeren Probandinnen (76;83;151). Bei den von Lammers und Kollegen erhobenen Referenzwerten bestanden keine Unterschiede zwischen den Sechs-Minuten-Gehstrecken der Jungen und denjenigen der Mädchen, da in dieser Studie ausschließlich präpubertäre Probanden unter 12 Jahren teilgenommen hatten (87).

Wir konnten des Weiteren eine signifikante Korrelation zwischen dem Lebensalter der Kinder und den Ergebnissen des Sechs-Minuten-Gehtests beobachten. Diese rührt hauptsächlich von der im Allgemeinen besseren Motorik und der größeren durchschnittlichen Schrittlänge älterer Kinder her und wurde auch von anderen Autoren beschrieben (55;87;91). Die geringe Ausprägung der Korrelation liegt wohl einerseits daran, dass die psychomotorische Entwicklung individuell sehr unterschiedlich abläuft und einige motorisch besonders begabte Kinder in einem jüngeren Lebensalter schneller gehen können als ältere, etwas ungeschicktere. Andererseits ist der oben genannte geringere Bewegungsdrang der Mädchen ab 14 Jahren auch als Ursache für die nicht stark ausgeprägte Korrelation anzunehmen.

Obwohl Li und Kollegen eine Beurteilung der Sechs-Minuten-Gehstrecke nach der Körperlänge empfohlen, ist unseres Erachtens eine Einteilung der Referenzwerte nach Altersgruppen sinnvoller (91). Auch in unseren Berechnungen korrelierte die Sechs-Minuten-Gehstrecke mit der Körperlänge etwas deutlicher als mit dem Lebensalter. Da in der Kinderkardiologie Belastungstestergebnisse wie beispielsweise die der Fahrradspiroergometrie üblicherweise nach Lebensalter beurteilt werden und die Korrelation des Lebensalters der Probanden zum Sechs-Minuten-Gehtest ($r= 0,46$) nur wenig niedriger war als diejenige der Körperlänge ($r= 0,53$), blieben wir bei der in unserer Studienplanung konzipierten Einteilung nach Altersgruppen (151).

In unserer Studie wurde eine nur geringe Korrelation der Gehstrecke Gesunder mit ihrem Body-Mass-Index festgestellt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass alle Probanden normalgewichtig waren und der Body-Mass-Index, solange er in der Spanne der Altersnorm liegt, wenig Einfluss auf die körperliche Leistungsfähigkeit haben dürfte. Dass eine Korrelation zwischen BMI und Gehstrecke überhaupt nachgewiesen werden konnte, liegt eventuell daran, dass auch Muskelmasse zum BMI beiträgt, muskulöse Menschen einen größeren BMI haben als hagere und aufgrund ihrer größeren Muskelmasse bessere Ergebnisse im Belastungstest erzielen können. Dies würde auch erklären, warum die Korrelation zur Gehstrecke bei den Mädchen geringer ausgeprägt war als bei den Jungen. Diese Begründungen sind als hypothetisch anzusehen, da hierzu in unserer Studie keinerlei Untersuchungen durchgeführt wurden.

Die Spannweite der Ergebnisse des Sechs-Minuten-Gehtests von 64 Metern kommt hauptsächlich dadurch zustande, dass die Gehstrecken der jüngeren Kinder deutlich niedriger ausfielen als diejenigen der älteren gesunden Probanden. Verglichen mit anderen Belastungsuntersuchungen ist diese Spannweite aber relativ gering. Sie beträgt, abhängig von der Altersgruppe, zwischen vier und neun Prozent des jeweiligen Mittelwertes, während beispielsweise die Fahrradspiroergometrie eine Spannweite von etwa 15 % aufweist (151).

Wir verzichteten bei unseren gesunden Probanden auf die Bestimmung von Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz und Blutdruck, da wir die Untersuchungsbedingungen möglichst einfach gestalten wollten und uns vom Verhalten dieser Messwerte während des Sechs-Minuten-Gehtests keine relevanten Informationen versprachen. Durch die 2007 veröffentlichten Studien wurden wir in dieser Annahme bestätigt. Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz und Blutdruck korrelierten bei den Referenzwerterhebungen von Li, Lammers und Geiger nicht mit der Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder Kinder (55;87;91).

Bei der Auswertung der Ergebnisse Gesunder zeigte sich in der gesamten untersuchten Population eine signifikante, aber geringe Abhängigkeit der Gehstrecke davon, wie viel Sport die Kinder und Jugendlichen trieben. Diejenigen, die angegeben hatten, keinen Sport zu treiben (Gruppe eins), erzielten im Sechs-Minuten-Gehtest Ergebnisse, die signifikant unter denen der etwas aktiveren Probanden lagen. Einschränkend muss bei der Beurteilung dieser Korrelationen neben den sehr unterschiedlichen Gruppengrößen auch erwähnt werden, dass die meisten Kinder der Gruppe ohne sportliche Aktivität noch nicht zur Schule gingen. Deshalb waren sie mit 1,31 m und durchschnittlich acht Jahren wesentlich kleiner und jünger als diejenigen der anderen Gruppen, was sicherlich einen großen Teil der Korrelation bzw. der Unterschiede ausmacht. Als Grund für die geringe Ausprägung der Zusammenhänge wäre zu nennen, dass nicht jede Art Freizeitsport bessere Voraussetzungen für den Sechs-Minuten-Gehtest schafft. Sportarten wie Judo, Geräteturnen oder Tischtennis schulen im Gegensatz zu Ausdauersportarten wie Fußball oder Leichtathletik wohl weniger die für den Gehtest notwendigen Fertigkeiten. Wegen der geringen Gruppengrößen konnte eine Untersuchung je nach Sportart leider nicht erfolgen. Außerdem muss angemerkt werden, dass unsere Befragung nicht die gesamte Freizeitgestaltung inklusive aller Hobbys und der vor dem Fernseher bzw. Computer sitzend verbrachten Stunden berücksichtigte. Dadurch wurden nicht sämtliche die allgemeine Leistungsfähigkeit beeinflussende Faktoren erfasst.

Des Weiteren wurde die Gehstrecke auf Abhängigkeit vom subjektiv empfundenen Belastungsgrad der Probanden hin untersucht. Von Borg und Mitarbeitern war bereits in den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts eine visuelle Analogskala eingeführt worden, mit deren Hilfe Patienten ihren Ermüdungsgrad angeben konnten. Diese Skala, die Werte von drei bis 19 enthielt, wurde in den darauffolgenden Jahren mehrmals überarbeitet (13-15;17); wir verwendeten der besseren Übersicht wegen eine modifizierte Borg-Skala mit Werten von eins bis zehn (siehe Kapitel 2). Ähnliche Skalen werden auch zur Dokumentation von Schmerzintensität und Atemnot verwendet (156). Der modifizierten Borg-Skala wurde eine bessere Reproduzierbarkeit und engere Korrelation mit der Leistung Erwachsener bei Belastungstests nachgewiesen als anderen visuellen Analogskalen (2;156). Sie ist nachgewiesenermaßen auch für ältere Kinder und Jugendliche anwendbar und wird in den amerikanischen Leitlinien für Belastungsuntersuchungen in der Pädiatrie empfohlen (153). Die subjektive Einschätzung der allgemeinen Erschöpfung wurde in mehreren Studien als sehr guter Indikator für den Grad der tatsächlichen körperlichen Verausgabung bezeichnet, sie korreliert beispielsweise eng mit der während Belastungsuntersuchungen erreichten

maximalen Herzfrequenz Erwachsener und kann zur Differentialdiagnostik herangezogen werden (14;16).

Die Borg-Skala wurde auch in Studien zum Sechs-Minuten-Gehtest bereits vielfach angewendet und befürwortet (11;48;63;72;103;120;149). Um zusätzlich zur gemessenen Gehstrecke die wichtige Information zu erhalten, wie stark sich die Probanden durch den Gehtest verausgabt fühlten, benutzten wir die modifizierte Borg-Skala. Dabei stellten wir fest, dass fast die Hälfte der Kinder bis zu sieben Jahren die visuelle Analogskala nicht adäquat benutzen konnten und sich trotz der Bilder, die jeweils seitlich an der Skala angebracht waren, nicht auf eine Zahl festlegen wollten. Dies mag daran liegen, dass in diesem Alter das Verständnis für Zahlen, Rang- und Reihenfolgen noch nicht entsprechend entwickelt ist und man jüngere Kinder daher mit der Fragestellung überfordert. Um keinen Fehler zu machen, scheuen sich wohl deswegen einige Kinder davor, sich auf eine bestimmte Zahl festzulegen. Ältere Kinder ab etwa acht Jahren erfassten den Sinn der Borg-Skala in aller Regel sehr gut und entschieden sich nach nur kurzer Bedenkzeit für einen Wert. Im Schnitt lag dieser Wert bei 3,3, was zeigt, dass der Gehtest für gesunde Kinder und Jugendliche eine eher geringe subjektiv empfundene körperliche Belastung darstellt und daher berechtigterweise als submaximal angesehen wird. Auch Geiger und Kollegen wendeten eine solche modifizierte Borg-Skala bei ihrer Referenzwerterhebung an. Ihre Probanden wählten ebenfalls Werte um die Zahl drei auf der visuellen Borg-Skala (55). Der erfragte Erschöpfungsgrad erwies sich als unabhängig von der tatsächlich zurückgelegten Distanz und ermöglicht daher keine Rückschlüsse auf das Ausmaß der Belastungseinschränkung. Es ist folglich nicht möglich, allein aus der erreichten Gehstrecke Rückschlüsse auf die empfundene Belastung durch den Test (oder umgekehrt) zu ziehen. Die Borg-Skala kann aber zusätzliche Angaben zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit im Alltag liefern.

Als mögliche Fehlerquelle bei der Anwendung der Borg-Skala im Kindesalter muss bedacht werden, dass der Untersucher auf die Fähigkeit des Kindes, die empfundene Erschöpfung adäquat in einen Zahlenwert zu übertragen, genauso angewiesen ist wie auf die Ehrlichkeit des Probanden. Es wäre denkbar, dass Kinder trotz eigentlich empfundener deutlicher Erschöpfung einen niedrigeren Wert auf der Borg-Skala wählen, um nicht für untrainiert oder übermäßig empfindlich gehalten zu werden. Umgekehrt wäre es auch denkbar, dass ein gesundes Kind bei der Angabe seines Erschöpfungsgrades bewusst übertreibt, um geschont oder bemitleidet zu werden.

Um den Sechs-Minuten-Gehtest genauer hinsichtlich seiner Objektivität zu evaluieren, korrelierten wir die mit der Fahrrad-Spiroergometrie erhobenen Werte mit den Ergebnissen

des Gehstests. Wegen einer zu geringen Anzahl vorliegender Spiroergometrie-Ergebnisse war dies bei den Patienten leider nicht möglich. Bei der Interpretation der Spiroergometrie wird sehr häufig die maximale Sauerstoffaufnahme als Maß für die körperliche Leistungsfähigkeit genutzt (44;73;104;128). Sie gilt auch bei pädiatrischen Patienten als verlässlichstes Maß zur Beurteilung der aeroben Kapazität und der tatsächlichen körperlichen Leistungsfähigkeit, da sie weniger als die Leistung in Watt von der Motivation der Probanden abhängig ist (44;94;138). Zur Bestimmung der körperlichen Belastbarkeit im Ausdauerbereich (beispielsweise zur Beurteilung des Trainingszustandes im Leistungssport) wird häufig die anaerobe Schwelle herangezogen. Sie gilt auch im Kindesalter als verlässlicher Messwert für die aerobe Fitness (69). Bei Erreichen der anaeroben Schwelle beträgt die Sauerstoffaufnahme etwa 60% des Maximalwertes (93). Es ergaben sich bei unseren Untersuchungen in der Referenzgruppe im Gegensatz zu einigen früheren Studien keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Spiroergometrie und der zurückgelegten Wegstrecke (11;39;63;103;155). Eine mögliche Erklärung dafür könnte die Tatsache sein, dass der Sechs-Minuten-Gehtest für Gesunde eine submaximale Untersuchung darstellt, während die Spiroergometrie maximale Leistungen erfordert (63;98;116). Die fehlende Korrelation ist also eventuell dadurch bedingt, dass zwei Belastungsmethoden unterschiedlicher Intensität miteinander verglichen wurden. Dazu kommt, dass, wie auch von Guyatt und Mitarbeitern sowie Palange beschrieben, die Testperson beim Gehtest nicht nur die Beine, sondern den gesamten Körper bewegen muss und es sich somit um Bewegungsabläufe mit unterschiedlichen motorischen Anforderungen handelt (63;116). Das Gehen ist zudem eine aus dem Alltag her vertrautere Anforderung. Ein weiterer Grund für die fehlende Korrelation zwischen den Ergebnissen der Spiroergometrie und denjenigen des Sechs-Minuten-Gehtests in unseren Untersuchungen könnte neben der relativ kleinen Gruppengröße (n= 34) unter Umständen die Tatsache sein, dass die Probanden während der Fahrradspiroergometrie von der medizinisch-technischen Assistentin wiederholt zu maximaler Anstrengung ermutigt wurden, während der Gehtest ohne motivierende Kommentare ablief. Warner Stevenson sowie Satake und Mitarbeiter beschrieben Fahrradergometrie und Sechs-Minuten-Gehtest als einander ergänzende, nicht austauschbare Belastungstests, weil diese Methoden unterschiedliche Aspekte der Leistungsfähigkeit messen. (131;152). Ähnlich argumentierten andere Autoren (95;98). Im subjektiven Vergleich gaben 95% unserer Probanden an, den Sechs-Minuten-Gehtest gegenüber der Fahrradspiroergometrie vorzuziehen, da erstgenannter weniger anstrengend und von kürzerer Dauer sei. Auch

Patienten von Hoffmann und Kollegen trafen ähnliche Aussagen (72). Diese gute Akzeptanz bei den Probanden stellt einen großen Vorteil in der klinischen Anwendung dar.

4.3. Ergebnisse des Sechs-Minuten-Gehtests bei Patienten mit pulmonaler Hypertension

Von den Patienten mit pulmonaler Hypertension wurden im Sechs-Minuten-Gehtest durchschnittlich 286 m weniger als von gesunden Referenzpersonen erreicht, obwohl sie im Durchschnitt mit 14,3 Jahren und 1,48 m etwas älter und größer waren. Im Mittel lag die Sechs-Minuten-Gehstrecke der Patienten bei 58% der jeweiligen Altersnorm, bei allen signifikant unterhalb der 1,96fachen Standardabweichung des Referenzwertes. Zwar muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden, dass bei der Mehrzahl der Patienten Nebendiagnosen wie Trisomie 21 (n = 3), Alkohol-Embryopathie (n = 1), Dystrophie (n = 1), Di George-Syndrom (n = 1) oder mentale Retardierung (n = 2) bekannt waren. Da aber der Sechs-Minuten-Gehtest sehr einfach zu verstehen ist - auch unsere jüngsten Probanden kamen mit der Aufgabe gut zurecht- und geringe Anforderungen an die Motorik der Untersuchten stellt, halten wir eine bedeutsame Beeinflussung des Testergebnisses durch diese Nebendiagnosen für unwahrscheinlich. Sie hatten bei unseren Patienten im Vergleich zu den kardiopulmonalen Erkrankungen sicherlich einen untergeordneten Einfluss auf die körperliche Leistungsfähigkeit. Der deutliche Unterschied zu den gesunden Vergleichspersonen im Ergebnis des Sechs-Minuten-Gehtests war aller Wahrscheinlichkeit nach hauptsächlich auf die schlechte Oxygenierung bei bestehender pulmonaler Hypertension und wesentlich weniger durch die (psycho)motorischen Defizite bedingt. Die signifikante Korrelation der Ruhe-Sauerstoffsättigung, des Krankheitsstadiums und der Belastung des rechten Ventrikels mit der Sechs-Minuten-Gehstrecke (s.u.) stützen diese Einschätzung. Zwei unserer Patienten mussten wegen starker Atemnot bzw. Absinkens der Sauerstoffsättigung um mehr als 35% des Ausgangswertes während des Sechs-Minuten-Gehtests Pausen einlegen. Dies ist ebenfalls ein Grund für die niedrigere Gehstrecke.

Die große Spannweite der Sechs-Minuten-Gehstrecken in der Patientengruppe ist durch die sehr unterschiedlich ausgeprägten Schweregrade der p.H. und die daraus resultierenden interindividuellen Unterschiede bedingt. Lipkin und Kollegen hatten ebenfalls eine große Varianz der Gehstrecken, besonders bei stark beeinträchtigten Herzkranken, festgestellt (93).

Eine signifikante, sehr hohe Korrelation der ersten Untersuchung zu den Testwiederholungen ergab sich auch bei unseren p.-H.-Patienten. Es kann folglich bei den Patienten wie bei der Vergleichsgruppe erwartet werden, dass die Gehstrecken der Testwiederholungen in einem ähnlichen Bereich liegen wie die der ersten Untersuchung. Anders als in der Vergleichsgruppe ergab der Mittelwertvergleich in der Patientengruppe keine signifikanten Unterschiede zwischen dem ersten Sechs-Minuten-Gehtest und der ersten Wiederholung. Ein Mittelwertvergleich zwischen dem zweiten und dritten Durchgang war in der Patientengruppe wegen der geringen Teilnehmerzahl nicht sinnvoll. Im Vergleich zu den gesunden Probanden wurden bei unseren p.-H.-Patienten wesentlich geringere Unterschiede zwischen den beiden Durchgängen des Sechs-Minuten-Gehtests beobachtet als bei den Gesunden. Anscheinend üben bei den Patienten Lern- und Gewöhnungseffekte einen deutlich geringeren Einfluss auf das Ergebnis des Gehtests aus als bei Gesunden, weil es den Patienten durch ihren reduzierten Allgemeinzustand kaum möglich ist, den Trainingseffekt zu nutzen. Eine bessere Technik und Koordination ist für sie von geringerem Vorteil als für die gesunden Gleichaltrigen, da sie von kardiopulmonaler Seite her nicht in der Lage sind, ihre Gehgeschwindigkeit entsprechend zu steigern.

Bei unseren Patienten zeigte sich im Gegensatz zu den Gesunden keine Abhängigkeit der Sechs-Minuten-Gehstrecke von ihrem Lebensalter. Dem positiven Effekt steigender Körpergröße auf das Testergebnis wurde wohl dadurch entgegengewirkt, dass sich der kardiopulmonale Zustand der Patienten mit steigendem Lebensalter durch ihre immer länger bestehende Erkrankung verschlechtert und sie so an Leistungsfähigkeit einbüßen.

Sechs der 13 p.-H.-Patienten hatten wegen geistiger Behinderung nicht das entsprechende Zahlenverständnis zur Benutzung der Borg-Skala; deshalb konnten nur die Angaben der übrigen acht Patienten verwertet werden. Bei diesen lag der durchschnittlich angegebene Wert bei 5,6 und zeigte so eine im Vergleich zu den gesunden Probanden deutlich stärker empfundene Erschöpfung nach dem Belastungstest. Von den Kindern mit pulmonaler Hypertension wurden wesentlich häufiger Werte in der oberen Hälfte inklusive der Zahl zehn, die größte vorstellbare Erschöpfung beschreibt, gewählt. 88% der Patienten gaben nach dem ersten Versuch Werte von fünf und darüber an, 63% nach dem zweiten Versuch. Diese Tatsache lässt vermuten, dass die p.-H.-Patienten sich über ein submaximales Niveau hinaus belastet hatten und dass der Gehtest für einige körperlich besonders stark eingeschränkte Patienten eine nahezu maximale Belastung darstellen kann (60). Der erfragte Erschöpfungsgrad erwies sich als unabhängig von der tatsächlich zurückgelegten Distanz. Er

ermöglicht daher bei unseren Patienten wie auch in der Vergleichsgruppe keine Rückschlüsse darauf, welches Ausmaß die Einschränkung der Belastbarkeit bereits erreicht hat. Um sich aber ein möglichst gutes Bild von der allgemeinen Situation des Patienten zu machen, für die das subjektive Empfinden unter körperlicher Belastung eine bedeutende Rolle spielt, liefert die Borg-Skala nützliche zusätzliche Informationen.

Da die Einteilung der pulmonalen Hypertension in die vier Klassen bzw. Stadien nach Definition der New York Heart Association überwiegend auf dem Grad der Einschränkung der körperlichen Belastbarkeit basiert, haben wir den Gehstest auf Zusammenhänge mit dem NYHA-Stadium untersucht. Diese Einteilung wurde analog zu derjenigen der Schweregrade der Herzinsuffizienz entwickelt (132). Im Stadium eins befinden sich subjektiv beschwerdefreie Patienten. Die Patienten im Stadium zwei empfinden erst bei stärkerer körperlicher Belastung Beschwerden wie Dyspnoe und Schwindel. Im Stadium drei treten bereits bei leichter körperlicher Belastung Symptome auf. Liegen bei einem Patienten schon in Ruhe Beschwerden vor, die durch körperliche Anstrengung verstärkt werden, befindet dieser sich im Stadium vier. Nach dieser Einteilung bestand nur bei einem Mädchen unserer Patientengruppe ein Stadium eins, bei fünf Kindern ein Stadium zwei und bei sieben Patienten ein Stadium drei. Eine Veranschaulichung gibt Diagramm 8 (siehe Kapitel 3.6., S.37). Es wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem NYHA-Stadium und der erreichten Gehstrecke festgestellt. Die einzige Patientin mit Stadium eins erreichte ein Ergebnis, das nur knapp unterhalb der zweifachen Standardabweichung der entsprechenden Referenzgruppe lag. Die Patienten im NYHA-Stadium zwei (n= 5) konnten im Mittel 489 Meter zurücklegen, während diejenigen im Stadium drei (n= 7) nur auf 340 Meter kamen. Diese Ergebnisse liegen signifikant unterhalb der 1,96fachen Standardabweichung der jeweiligen Altersnorm und bestätigen, dass der Gehstest geeignet ist, um die eingeschränkte Belastbarkeit der Patienten im Alltag widerzuspiegeln. Umgekehrt könnte der Sechs-Minuten-Gehtest eine Hilfe zur Einteilung in die NYHA- Stadien darstellen. Je weiter die pulmonale Hypertension und die damit verbundene Hypoxämie fortgeschritten waren, desto weniger Strecke erreichten die

p.-H.-Patienten. Zugck und Mitarbeiter haben an Erwachsenen ähnliche Werte von 505 m (NYHA 1), 463 m (NYHA 2) und 379 m (NYHA 3) erhoben (158). Auch andere Autoren konnten an erwachsenen Patienten Vergleichbares beobachten (45;125).

Ein weiterer Messwert, von dem die Sechs-Minuten-Gehstrecke deutliche Abhängigkeit zeigte, war die unter Ruhebedingungen ermittelte Sauerstoffsättigung der Patienten.

Durch die bei bestehender pulmonaler Hypertension schon in Ruhe verminderte Oxygenierung des Blutes kommt es unter körperlicher Belastung zu einem Ungleichgewicht zwischen Sauerstoffbedarf der arbeitenden Muskeln und dem Sauerstoffangebot im Blut. Insbesondere bei zusätzlich vorhandenem Septumdefekt mit Rechts-Links-Shunt sinkt die Sauerstoffsättigung des Blutes unter Belastung. Da es unter körperlicher Arbeit durch Erweiterung der peripheren Gefäße zu einem Absinken des Gefäßwiderstandes kommt, die pulmonale Resistenz bei bestehender pulmonaler Hypertension hingegen gleich bleibt oder gar ansteigt, vergrößert sich das Rechts-Links-Shuntvolumen. Folge ist eine verringerte arterielle Oxygenierung. Der anaerobe Stoffwechsel begrenzt frühzeitig die körperliche Leistung. Zusätzlich kann die kardiale Auswurfleistung bei p.-H.-Patienten vermindert sein, was zu einer Verstärkung der peripheren Minderversorgung führt. Es kommt deswegen wesentlich früher zu Luftnot als bei Gesunden, welche die Patienten zu langsamerem Gehen bzw. zum Pausieren zwingt und so die Gehstrecke weiter verringert. Je schlechter sich das Herz-Kreislauf-System an körperliche Belastungen anpassen kann, desto deutlicher nimmt die erreichte Gehstrecke ab. So ist der starke Zusammenhang zwischen der Sauerstoffsättigung in Ruhe und der von den p.-H.-Patienten zurückgelegten Wegstrecke erklärbar. Die deutliche Korrelation des Sechs-Minuten-Gehtests mit diesem sowohl zuverlässig als auch einfach messbaren Parameter zeigt, dass der Test geeignet ist, den klinischen Zustand der Patienten zu beurteilen.

Die Korrelation zwischen Absinken der Oxygenierung unter Belastung und Gehstrecke war nicht signifikant. Ursache dafür könnte sein, dass die Untersuchungen bei Absinken der Sauerstoffsättigung um mehr als 35% des Ruhewertes zum Schutz der Patienten unterbrochen bzw. vorzeitig beendet wurden. Dadurch wurde die Sauerstoffsättigung innerhalb definierter Grenzen gehalten, was die Messwerte beeinflusste.

Der Hämatokrit, der bei p.-H.-Patienten durch reaktive Polyglobulie bei chronisch bestehender Hypoxämie oft erhöht ist, hatte in unseren Untersuchungen keinen Einfluss auf die Sechs-Minuten-Gehstrecke.

Vermehrte Muskelmasse des rechten Ventrikels ist eines der Zeichen für eine bereits seit längerer Zeit bestehende vermehrte rechtsventrikuläre Belastung. Eine solche Belastung tritt bei der pulmonalen Hypertension im Sinne eines Cor pulmonale ein; der rechte Ventrikel ist im Gegensatz zum linken stärker von der Höhe der Nachlast abhängig. In der echokardiographischen Untersuchung ist die hypertrophierte Muskelmasse direkt als Dicke der Vorderwand der rechten Herzkammer messbar. Hinderliter und Mitarbeiter konnten an 81 Erwachsenen mit primärer p.H. einen signifikanten inversen Zusammenhang zwischen einer

bestehenden deutlichen Verdickung der Vorderwand des rechten Ventrikels und der Leistung beim Sechs-Minuten-Gehtest nachweisen, Eysmann und Mitarbeiter stellten ebenfalls deutliche Korrelationen zwischen echokardiographisch ermittelten Werten und der Mortalität bei Patienten mit primärer pulmonaler Hypertension fest (50;71).

Wir konnten beobachten, dass unsere sieben Patienten, deren Vorderwanddicke deutlich über der gewichtsbezogenen Norm lag, signifikant weniger Wegstrecke zurücklegen konnten als diejenigen, bei denen die rechtsventrikuläre Vorderwanddicke noch innerhalb des Referenzbereiches lag. Dieser signifikante Zusammenhang zwischen der Hypertrophie des rechten Ventrikels und dem Ergebnis des Sechs-Minuten-Gehtests spiegelt sehr gut die Abhängigkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit der p.-H.-Patienten von der Funktion ihres subpulmonalen Ventrikels wider und zeigt erneut anhand eines messbaren Parameters die Eignung des Sechs-Minuten-Gehtests für die Beurteilung der körperlichen Beeinträchtigung. Natürlich muss auch in diese Schlussfolgerung einbezogen werden, dass die Zahl Untersucher relativ klein war.

Mit Hilfe der Doppler-Echokardiographie ist es bei Vorliegen einer Trikuspidalinsuffizienz möglich, den rechtsventrikulären Druck abzuschätzen. Bei acht unserer 13 Patienten lag in der Echokardiographie eine Trikuspidalklappeninsuffizienz ersten Grades vor. Dass dieses Klappenvitium keinen Zusammenhang mit der Sechs-Minuten-Gehstrecke zeigte, liegt am ehesten daran, dass sowohl die Beurteilung der Trikuspidalinsuffizienz als auch die Abschätzung des pulmonal-arteriellen Druckes über dieses Klappenvitium mit einer gewissen Fehlerquote behaftet ist. Zudem ist die pulmonale Hypertension nicht zwangsläufig mit dem Bestehen einer Trikuspidalinsuffizienz vergesellschaftet. Bei zwei unserer jugendlichen p.H.-Patienten mit stark erhöhtem pulmonal-arteriellem Druck und hohem pulmonal-arteriellem Widerstand konnte keine Trikuspidalinsuffizienz festgestellt werden.

Die Herzkatheteruntersuchung ist in der Diagnostik der pulmonalen Hypertension derzeit Goldstandard (22). Nur mit dieser Untersuchung können der pulmonal-arterielle und -kapilläre, der linksatriale und der diastolische Druck sowie Shuntgrößen hinreichend genau beurteilt werden. Auch die Überprüfung, ob die vorhandene Widerstandserhöhung auf Medikamentengabe reagiert, kann nur invasiv erfolgen. Barst und Mitarbeiter wiesen bei Patienten mit primärer p.H. in einer Studie über die Wirksamkeit intravenös applizierten Epoprostenols einen signifikanten inversen Zusammenhang zwischen den Drücken in Pulmonalarterien, dem rechten Ventrikel, den systemischen Arterien und der Sechs-Minuten-Gehstrecke nach. Korrelationen ergaben sich auch zwischen der Gehstrecke, dem Cardiac

index, dem Auswurfvolumen sowie den Widerständen in Pulmonal- und Systemgefäßen (6). In o.g. Studie korrelierten nicht nur die einmalig erhobenen Messwerte, sondern auch ihre Veränderung nach dreimonatiger Therapiedauer deutlich mit derjenigen der Gehstrecke.

Um die Aussagekraft des Sechs-Minuten-Gehtests besonders hinsichtlich seiner Eignung zur Therapiekontrolle besser beurteilen zu können, schien es somit sinnvoll, die von unseren pädiatrischen Patienten erreichte Gehstrecke ebenfalls mit Parametern zu vergleichen, die während einer Herzkatheter-Untersuchung erhoben worden waren.

Es konnte weder für den pulmonal-arteriellen Widerstand noch für das Verhältnis des pulmonal-arteriellen zum systemischen Druck ein signifikanter Zusammenhang gemessen werden. Dies ist am ehesten dadurch bedingt, dass die körperliche Leistungsfähigkeit bei p.H.-Patienten stärker von der Funktion des subpulmonalen Ventrikels als von den Druckverhältnissen in der Lungenstrombahn abhängig ist (s.o.). Für eine umfassende Beurteilung der Korrelation invasiv gemessener Parameter mit dem Sechs-Minuten-Gehtest war allerdings unser Patientenkollektiv zu klein.

4.4. Vorteile und Grenzen des Sechs-Minuten-Gehtests

Gerade für die Untersuchung von Patienten, die in ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit stark eingeschränkt sind, liefern Belastungsuntersuchungen wertvolle Daten. Aus unterschiedlichen Gründen ist aber die Fahrradspiroergometrie als Belastungsuntersuchung nicht für jeden Patienten durchführbar. Neben rein technischen Hindernissen wie zu geringer Körpergröße - gängige Apparaturen können nicht auf Körpergrößen unter 1,18 m adaptiert werden - oder zu hohem Körpergewicht - die Geräte sind oft nur bis zu 130 kg zugelassen - können motorische und kognitive Fähigkeiten so starken Einfluss auf Ablauf und Ergebnis einer Fahrradspiroergometrie nehmen, dass diese nicht mehr interpretierbar ist. Beim Gehtest stellen weder geringe Körpergröße noch hohes Körpergewicht Kontraindikationen dar. Auch Patienten in fortgeschrittenem Krankheitsstadium, für die eine Spiroergometrie ein zu großes Risiko darstellen würde, können an diesem sich selbst limitierenden, in der Regel submaximalen Belastungstest teilnehmen (53;63;102). Dass der Sechs-Minuten-Gehtest eine für die Patienten schonendere Belastungsuntersuchung darstellt, lässt sich an der wesentlich niedrigeren Abbruchrate erkennen. Wir führten mit unseren p.-H.-Patienten inklusive der Verlaufsbeobachtungen insgesamt 74 Sechs-Minuten-Gehtests durch, von denen nur drei wegen Beschwerden oder starken Absinkens der Sauerstoffsättigung abgebrochen werden

mussten. Die Fahrradspiroergometrie musste dagegen wegen Auftretens von Symptomen bei zwei der drei Untersuchten p.H.-Patienten vorzeitig beendet werden.

Weitere Vorteile des Gehtests sind die einfache Vorbereitung, der geringe personelle und materielle Aufwand, die niedrigen Kosten, die allgemein gute Akzeptanz durch die Patienten sowie die unkomplizierte Interpretation des Ergebnisses. Auch der deutlich geringere Zeitaufwand stellt im klinischen Alltag einen nicht zu vernachlässigenden Vorteil dar. Dazu kommt, dass der Gehtest die Belastungen des täglichen Lebens im Vergleich zur Fahrradspiroergometrie, insbesondere bei Patienten mit schwerwiegenden Erkrankungen, besser widerspiegelt. Diese Patienten können aufgrund ihres reduzierten Allgemeinzustandes meist nicht (mehr) Rad fahren.

Wie generell alle Methoden zur Evaluierung der körperlichen Leistungsfähigkeit kann der Sechs-Minuten-Gehtest diese zwar abschätzen, aber nicht absolut präzise beschreiben (130). Die Ergebnisse hängen von diversen Fähigkeiten, Eigenschaften, Erfahrungen und Gewohnheiten und nicht zuletzt vom Motivationsgrad der Untersuchten ab. Zweifelsohne wird das Ergebnis des Gehtests beispielsweise durch den kardiovaskulären, respiratorischen sowie neuromuskulären Zustand des Probanden, den Trainingszustand, durch den Willen zur Mitarbeit und zahlreiche weitere Faktoren beeinflusst. Dies sollte bei der Verwertung der Ergebnisse des Sechs-Minuten-Gehtests bedacht werden.

Der Sechs-Minuten-Gehtest liefert zwar eine geringere Anzahl messbarer Parameter als andere Belastungstests. Es kann weder die Leistung in Watt noch die maximale Sauerstoffaufnahme oder die anaerobe Schwelle bestimmt werden. Auch ein EKG kann man nicht kontinuierlich ableiten. Dennoch ist es möglich, sich mit Hilfe der erreichten Gehstrecke, des Verhaltens von Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz und eventuell der Borg-Skala ein objektiveres Bild der allgemeinen Leistungsfähigkeit der Patienten zu machen. Roul und Mitarbeiter konnten an herzinsuffizienten Erwachsenen eine signifikante Korrelation zwischen der im Sechs-Minuten-Gehtest erreichten Gehstrecke und der Häufigkeit schwerwiegender Komplikationen feststellen (127). Auch bei p.-H.-Patienten konnten signifikante Zusammenhänge zwischen Sechs-Minuten-Gehstrecke und Mortalität nachgewiesen werden (6;12). All dies spricht für einen Einsatz des Sechs-Minuten-Gehtests bei Patienten mit pulmonaler Hypertension und anderen chronischen Erkrankungen. Wir konnten in unseren Untersuchungen feststellen, dass der Sechs-Minuten-Gehtest es ermöglicht, zwischen gesunden und kranken Kindern zu differenzieren. Mit der vorliegenden Arbeit liegen zudem erstmals an einer großen Gruppe gesunder deutscher Kinder und Jugendlicher erhobene Referenzwerte für den Sechs-Minuten-Gehtest vor.

4.5. Fallstudie zur Therapiekontrolle mit dem Sechs-Minuten-Gehtest

Der 15-jährige Patient T. leidet an einer hochgradigen pulmonal-arteriellen Hypertension, die Folge eines nicht operativ korrigierten kompletten atrioventrikulären Septumdefektes bei Trisomie 21 ist. T. befindet sich im NYHA-Stadium 3. Bei ihm wurde im Rahmen der Herzkatheteruntersuchung eine Medikamententestung durchgeführt. Es zeigte sich dabei keine Reduktion der pulmonalen Resistenz unter Sauerstoff- und Stickstoffmonoxyd-Gabe, aber ein deutliches Absinken von pulmonal-arteriellem Druck und pulmonaler Resistenz unter Gabe des Prostazyklinanalogons Ilomedin. Daher wurde von einer noch bestehenden medikamentösen Beeinflussbarkeit der p.H. ausgegangen und zusätzlich zu den nächtlichen Sauerstoffgaben eine Therapie mit dem Endothelin-Rezeptorantagonisten Bosentan begonnen (58). Zur Verlaufskontrolle setzten wir neben den üblichen klinischen und paraklinischen Untersuchungen den Sechs-Minuten-Gehtest ein. Vor Beginn der medikamentösen Therapie bewältigte T. eine Gehstrecke von 360 m. Die Sauerstoffsättigung des Patienten fiel von 79% in Ruhe auf 55% unter Belastung ab, weswegen eine Pause von 40 s Dauer eingelegt werden musste. Am Ende des Sechs-Minuten-Gehtests lag die Sauerstoffsättigung ebenfalls bei 55%, die Herzfrequenz bei 106 Schlägen pro Minute gegenüber 79 Schlägen pro Minute vor dem Test. T. gab während des Gehtests keinerlei Beschwerden an.

Die erste Vorstellung des Patienten zur Kontrolluntersuchung erfolgte vier Wochen nach Beginn der Therapie mit einer Tagesdosis von 125 mg Bosentan. T. legte beim Sechs-Minuten-Gehtest eine Strecke von 350 m zurück. Wegen Absinkens der Sauerstoffsättigung von 80% in Ruhe auf 54% unter Belastung wurde der Gehtest zweimalig für jeweils 20 s unterbrochen. Die Herzfrequenz stieg von 79 Schlägen pro Minute auf 110 Schläge pro Minute am Ende des Gehtests an.

Eine weitere Kontrolluntersuchung erfolgte zwei Monate später. T. erreichte nun, drei Monate nach Therapiebeginn, eine Gehstrecke von 465 m, was einer Steigerung um 29% entspricht. Es kam während des Gehtests zu einem Absinken der Sauerstoffsättigung von 81% auf 62%. Pausen waren bei dieser Untersuchung nicht notwendig.

Sechs Monate nach Therapiebeginn lag die Sechs-Minuten-Gehstrecke unter Therapie mit nächtlichen Sauerstoffapplikationen sowie einer Tagesdosis von 250 mg Bosentan bei 483 m. Auch während dieser Kontrolluntersuchung mussten keine Pausen eingelegt werden, die Sauerstoffsättigung lag vor dem Gehtest bei 84% und fiel auf minimal 63% unter Belastung ab. T. klagte auch während dieses Sechs-Minuten-Gehtests nicht über Beschwerden. Durch die deutliche Steigerung der erreichten Sechs-Minuten-Gehstrecke um 34% des

Ausgangswertes konnte ein Ansprechen auf die neue medikamentöse Therapie objektiviert werden. Auch der geringere Abfall der Sauerstoffsättigung unter Belastung sprach für eine Wirksamkeit der Behandlung. Vor Behandlungsbeginn war die Sättigung um 29% des Ruhewertes gesunken, nach sechsmonatiger Therapie nur noch um 23%. Der Fall T. zeigt, wie mit Hilfe des Sechs-Minuten-Gehtests zusätzlich zu den Angaben der Eltern und der allgemeinen klinischen Untersuchung ohne großen Aufwand objektive Daten über die Entwicklung des Krankheitsverlaufes gewonnen werden können.

5. Zusammenfassung

Als einfacher, submaximaler, sich selbst limitierender Belastungstest scheint der Sechs-Minuten-Gehtest auch für Patienten geeignet, die aufgrund ihres fortgeschrittenen Krankheitsstadiums einer Spiroergometrie nicht gewachsen sind. Gerade bei Kindern und Jugendlichen mit pulmonaler Hypertension (p.H.) ist es oft nicht möglich, die Leistungsfähigkeit durch Fahrradergometrie zu objektivieren. Unsere Untersuchungen hatten das Ziel, die Aussagekraft des Sechs-Minuten-Gehtests für die Diagnostik und Therapiekontrolle dieser Patienten zu ermitteln.

An 269 gesunden Probanden (119 Jungen und 150 Mädchen im Alter von fünf bis 18 Jahren) wurde zur Erhebung von Referenzwerten auf einem 80 m langen Flur ein Sechs-Minuten-Gehtest nach standardisiertem Testprotokoll durchgeführt. Aufgabe war, eilig gehend innerhalb von sechs Minuten so viel Strecke wie möglich zurückzulegen. Wir überprüften den Gehtest auf Reproduzierbarkeit und Abhängigkeit von unterschiedlichen Eigenschaften der Probanden hin. 13 Patienten mit p.H. absolvierten den Sechs-Minuten-Gehtest nach demselben Testprotokoll. Sie wurden mit einem tragbaren Pulsoxymetergerät überwacht. Jedes Kind führte (nach mindestens 20 Minuten Pause) mindestens eine, 128 Probanden noch eine zweite Testwiederholung durch. Anschließend wurde sowohl bei den gesunden Vergleichspersonen als auch bei den p.-H.-Patienten der Erschöpfungszustand anhand einer modifizierten Borg-Skala erfragt.

Im Mittel erreichten gesunde Mädchen eine Gehstrecke von 693 ± 57 m (nach Alter in Jahren eingeteilt: 5-7= 620 m, 8-13= 713 m, 14-18= 700 m) und Jungen 714 ± 70 m (nach Altersgruppen: 5-7= 626 m, 8-13= 725 m, 14-18= 746 m). In der Vergleichsgruppe zeigten sich signifikante Gewöhnungseffekte im Sinne einer Steigerung bei den Wiederholungen. Die Testwiederholungen korrelierten aber sehr stark und signifikant mit dem Ergebnis des ersten Sechs-Minuten-Gehtests. Bei den gesunden Vergleichspersonen zeigte der Gehtest Abhängigkeit von Körpergröße, Gewicht, BMI und Lebensalter, geringfügig auch von der sportlichen Betätigung, aber keine signifikante Korrelation zu den Ergebnissen der Fahrradspiroergometrie und der subjektiv empfundenen Erschöpfung. Kinder mit pulmonaler Hypertension erreichten durchschnittlich 416 ± 115 m (von 225 m bis 592 m). Es ergab sich keine signifikante Steigerung der Sechs-Minuten-Gehstrecke bei den Testwiederholungen. Der Gehtest zeigte Abhängigkeit von Ruhesauerstoffsättigungswerten, Hypertrophie des rechten Ventrikels und dem NYHA-Stadium, nicht aber von der subjektiv empfundenen

Erschöpfung, dem Hämatokrit, der pulmonalen Resistenz und dem Verhältnis des pulmonal-arteriellen zum systemischen Druck. Der Sechs-Minuten-Gehtest ist für pädiatrische Patienten trotz einer gewissen Motivationsabhängigkeit verlässlich. Bei Kindern und Jugendlichen mit pulmonaler Hypertension sind die Ergebnisse des Sechs-Minuten-Gehtests signifikant niedriger; es besteht eine Korrelation zwischen der Gehstrecke und der Schwere der Erkrankung. Unseres Erachtens ist dieser einfache, kostengünstige Test zur Einschätzung des Therapieerfolgs und der körperlichen Leistungsfähigkeit im Verlauf bei p.-H.-Patienten sehr gut geeignet.

6. Thesen

1. In der pädiatrischen Kardiologie besteht ein großes Interesse, objektive Daten über die körperliche Leistungsfähigkeit zu erhalten. Dies gilt insbesondere für die Diagnostik und Therapiekontrolle bei Patienten mit pulmonaler Hypertension. Das Mittel zur objektiven Beurteilung der Leistungsfähigkeit sollte ein einfach durchführbarer, gut reproduzierbarer Test sein, der auch für Patienten geeignet ist, die nicht an einem maximalen Leistungstest wie der Fahrradspiroergometrie teilnehmen können.
2. In der Erwachsenenmedizin, vereinzelt auch bei Kindern, ist der Sechs-Minuten-Gehtest mit unterschiedlichen Fragestellungen angewendet worden. Bislang existierten jedoch keine Referenzwerte für die Sechs-Minuten-Gehstrecke deutscher Kinder und Jugendlicher im Alter von fünf bis 18 Jahren. Dafür wurde das Protokoll erarbeitet.
3. Eine Voraussetzung war die Auswahl eines repräsentativen Probandenkollektives. Hierfür erfolgte eine sorgfältige Definition von Ein- und Ausschlusskriterien.
4. Gesunde Kinder erreichten eine durchschnittliche Sechs-Minuten-Gehstrecke von 702 ± 64 m. Jungen legten im Mittel 714 ± 70 m, Mädchen 693 ± 57 m zurück. Es fanden sich signifikante Korrelationen der Sechs-Minuten-Gehstrecke mit dem Lebensalter, der Körpergröße und dem Körpergewicht. So war es sinnvoll, nach Altersgruppen und Geschlecht getrennte Referenzwerte für den Sechs-Minuten-Gehtest zu erstellen. Mit dem Body-Mass-Index und der sportlichen Aktivität der Probanden korrelierte der Sechs-Minuten-Gehtest sehr geringfügig, aber signifikant.
5. Der erste und der zweite Durchgang des Sechs-Minuten-Gehtests korrelieren mit einem Koeffizienten von $r = 0,87$ ($p < 0,001$). Zwischen dem zweiten und dem dritten Durchgang lag der Korrelationskoeffizient bei $r = 0,91$ ($p < 0,001$). Vermutlich durch Gewöhnungseffekte kam es bei wiederholter Durchführung des Sechs-Minuten-Gehsts zu einer Steigerung der Gehstrecke. Für die Auswertung des Sechs-Minuten-Gehtests und den Vergleich mit anderen Parametern errechneten wir den Mittelwert aus allen Testdurchgängen.
6. Der Sechs-Minuten-Gehtest ist ein eigenständiger Leistungstest im submaximalen Bereich. Er korrelierte nicht mit den Ergebnissen der Fahrradspiroergometrie unserer Probanden. Beide Untersuchungen beurteilen verschiedene Aspekte der Leistungsfähigkeit und können nicht gegeneinander ausgetauscht werden.

7. Eine modifizierte Borg-Skala mit Werten von 1 bis 10 kann zusätzliche Informationen über die subjektiv empfundene Belastung geben, aber die Leistungsfähigkeit nicht widerspiegeln. Signifikante Korrelationen zur Leistung im Sechs-Minuten-Gehtest bestanden bei unseren Probanden nicht.
8. Bei Patienten mit pulmonaler Hypertension lag die mittlere Sechs-Minuten-Gehstrecke bei 416 ± 115 m. Die erreichten Gehstrecken lagen signifikant unter den jeweiligen altersbezogenen Referenzbereichen der gesunden Probanden ($p < 0,001$).
9. Auch bei den Patienten zeigte sich zwischen den Durchgängen eine hohe, signifikante Korrelation der Gehstrecken ($r = 0,87$, $p < 0,001$). Eine signifikante Steigerung der Gehstrecke bei der Testwiederholung konnte bei den Patienten nicht beobachtet werden.
10. Es bestand eine signifikante Korrelation der Gehstrecke mit dem Schweregrad (NYHA-Stadium) der Erkrankung ($r = -0,85$, $p < 0,001$), dem Bestehen einer Hypertrophie des rechten Ventrikels ($r = -0,84$, $p < 0,001$) sowie der Sauerstoffsättigung in Ruhe ($r = 0,76$, $p = 0,003$), nicht aber vom Hämatokrit, dem pulmonal-arteriellen Widerstand und dem Verhältnis des pulmonal-arteriellen zum systemischen Druck der Patienten.
11. Der Sechs-Minuten-Gehtest sollte unseres Erachtens neben der Verlaufsbeobachtung auch zur Evaluation von Therapiemaßnahmen verwendet werden. Dies wird anhand eines Fallbeispiels veranschaulicht.

7. Abkürzungsverzeichnis

a	Jahre
AEP	Alkoholembryopathie
AG	Altersgruppe
AVK	Atrioventrikular-Kanal (kompletter atrioventrikulärer Septumdefekt)
AV3	AV-Block dritten Grades
b.H.	brachiocephale Hypertonie
BMI	Body-Mass-Index
COPD	chronische obstruktive Lungenerkrankung
d.A.	der Altersnorm
DGS	DiGeorge-Syndrom
Dys	Dystrophie
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
gAS	geringgradige Aortenstenose
Hk	Hämatokrit
j/n	ja/nein
k.A.	keine Angaben
KG	Körpergewicht
k.M.	keine Messung
m/w	männlich/weiblich
n.v.	nicht verdickt
m.R.	mentale Retardierung
6-MGSTR	Sechs-Minuten-Gehstrecke
Nebendia.	Nebendiagnose
NYHA	New York Heart Association
O ₂ -Sättig.	Sauerstoffsättigung (in Prozent)
p.H.	pulmonale Hypertension
P _{pa/sys}	Verhältnis des pulmonal-arteriellen zum systemischen Druck
R _{ap}	pulmonal-arterieller Widerstand

RVV	Verdickung der rechtsventrikulären Vorderwand
Sätt.-Abf.	Abfall der Sauerstoffsättigung unter Belastung (in Prozent des Ausgangswertes)
SD	Standardabweichung
SFS	Sinusknotenfunktionsstörung
SV	singulärer Ventrikel
T21	Trisomie 21
TGA	Transposition der großen Arterien
TI	Trikuspidalinsuffizienz
VAT	ventilatorische anaerobe Schwelle
VO _{2 max}	maximale Sauerstoffaufnahme
VSD	Ventrikelseptumdefekt
WE	Wood-Einheiten
WHO	World Health Organisation
Wo.	Woche

8. Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Diagramme

Abbildung 1: Teststrecke

Abbildung 2:

Dokumentationsbogen

Abbildung 3: Visuelle Borg-Skala

Abbildung 4: Der Sechs-Minuten-Gehtest bei einer Patientin mit p. H.

Tabelle 1: Diagnostische Klassifikation der pulmonalen Hypertension nach der WHO-Konferenz in Evian 1998

Tabelle 2: Charakteristika der gesunden Vergleichspersonen

Tabelle 3: Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder Jungen

Tabelle 4: Sechs-Minuten-Gehstrecke gesunder Mädchen

Tabelle 5: Referenzwertbereiche (95%-Konfidenz-Intervall) für die Sechs-Minuten-Gehstrecke (in Metern) gesunder deutscher Mädchen und Jungen im Alter von 5 bis 18 Jahren

Tabelle 6: Charakteristika der p.-H.-Patienten

Diagramm 1: Korrelation des ersten Durchganges des Sechs-Minuten-Gehtests zum zweiten Durchgang in der Vergleichsgruppe

Diagramm 2: Korrelation des zweiten Durchganges des Sechs-Minuten-Gehtests zum dritten Durchgang in der Vergleichsgruppe

Diagramm 3: Fehlende Korrelation der maximalen Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradspiroergometrie zur Sechs-Minuten-Gehstrecke

Diagramm 4: Korrelation des Alters zur Sechs-Minuten-Gehstrecke in der Vergleichsgruppe

Diagramm 5: Korrelation der Körpergröße zur Sechs-Minuten-Gehstrecke in der Vergleichsgruppe

Diagramm 6: Mittlere Sechs-Minuten-Gehstrecke aus 2 bzw. 3 Durchgängen in der Vergleichsgruppe und bei p.-H.-Patienten

Diagramm 7: Korrelation zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang des Sechs-Minuten-Gehtests bei p.-H.-Patienten

Diagramm 8: Abhängigkeit der Gehstrecke vom NYHA-Stadium (○ Einzelwerte, — Mittelwerte)

Diagramm 9: Fehlende Korrelation des Alters zur Sechs-Minuten-Gehstrecke bei p.-H.-Patienten

Diagramm 10: Fehlende Korrelation der Körpergröße zur Sechs-Minuten-Gehstrecke bei p.-H.-Patienten

Diagramm 11: Korrelation der Ruhe-Sauerstoffsättigung zur Sechs-Minuten-Gehstrecke

Diagramm 12: Korrelation der rechtsventrikulären Hypertrophie zur Sechs-Minuten-Gehstrecke (○ Einzelwerte, — Mittelwerte)

9. Danksagung

Herrn Professor Kienast möchte ich für die Überlassung des Themas sowie für die immer hilfsbereite und freundliche Betreuung danken.

Herrn Dr. Meyer danke ich für seine zuverlässige Präsenz als Ansprechpartner. Bei Frau Dr. Lenschow und den Schwestern der kardiologischen Ambulanz sowie der Station 14 möchte ich mich ebenfalls für die Unterstützung bei der Referenzwerterhebung bedanken. Herrn Professor Kundt und Frau Dipl.-math. Krentz aus dem Institut für medizinische Informatik und Biometrie für ihre Hilfe bei der statistischen Auswertung sowie Frau Jasper für ihre Hilfe bei der grafischen Gestaltung.

Bei den Mitarbeitern der Universitätsbibliothek Rostock, den Dokumentationsassistentinnen der UKJ Rostock, den Übersetzerinnen Anna Maria Fiocchetta, Julia Kretzschmar und Olga Baron bedanke ich mich ebenfalls herzlich. Mein Dank gilt auch allen freiwilligen Teilnehmern, den Eltern und Lehrern bzw. Erziehern, ohne deren bereitwillige Hilfe diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre. Ganz besonderer Dank sei hiermit meinen Eltern ausgesprochen, die mir mein Studium, diese Arbeit und noch so manches mehr ermöglicht haben.

10. Literatur

- (1) Abdulla J, Kober L, Christensen E, Torp-Pedersen C. Effect of beta-blocker therapy on functional status in patients with heart failure - A meta-analysis. *Eur J Heart Fail* 2005 Dec 21;.
- (2) Adams L, Chronos N, Lane R, Guz A. The measurement of breathlessness induced in normal subjects: validity of two scaling techniques. *Clin Sci (Lond)* 1985 Jul;69(1):7-16.
- (3) Alison JA, Anderson SD. Comparison of two methods of assessing physical performance in patients with chronic airway obstruction. *Phys Ther* 1981 Sep;61(9):1278-80.
- (4) Alpert BS, Verrill DE, Flood NL, Boineau JP, Strong WB. Complications of ergometer exercise in children. *Pediatr Cardiol* 1983 Apr;4(2):91-6.
- (5) Bagg LR. The 12-min walking distance; its use in the pre-operative assessment of patients with bronchial carcinoma before lung resection. *Respiration* 1984;46(4):342-5.
- (6) Barst RJ, Rubin LJ, Long WA, McGoon MD, Rich S, Badesch DB, et al. A comparison of continuous intravenous epoprostenol (prostacyclin) with conventional therapy for primary pulmonary hypertension. The Primary Pulmonary Hypertension Study Group. *N Engl J Med* 1996 Feb 1;334(5):296-302.
- (7) Basaran S, Guler-Uysal F, Ergen N, Seydaoglu G, Bingol-Karakoc G, Ufuk AD. Effects of physical exercise on quality of life, exercise capacity and pulmonary function in children with asthma. *J Rehabil Med* 2006 Mar;38(2):130-5.
- (8) Bassey EJ, Fentem PH, MacDonald IC, Scriven PM. Self-paced walking as a method for exercise testing in elderly and young men. *Clin Sci Mol Med Suppl* 1976 Dec;51(6):609-12.
- (9) Bassey EJ, Macdonald IA, Patrick JM. Factors affecting the heart rate during self-paced walking. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1982;48(1):105-15.
- (10) Berman Rosenzweig E, Widlitz AC, Barst RJ. Pulmonary arterial hypertension in children. *Pediatric Pulmonology* 2004;38:2-22.
- (11) Bernstein ML, Despars JA, Singh NP, Avalos K, Stansbury DW, Light RW. Reanalysis of the 12-minute walk in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 1994 Jan;105(1):163-7.
- (12) Bittner V, Weiner DH, Yusuf S, Rogers WJ, McIntyre KM, Bangdiwala SI, et al. Prediction of mortality and morbidity with a 6-minute walk test in patients with left ventricular dysfunction. SOLVD Investigators. *JAMA* 1993 Oct 13;270(14):1702-7.

-
- (13) Borg G, Linderholm H. Perceived exertion and pulse rate during graded exercise. *Acta Med Scand* 1967;472 (suppl.):194-207.
 - (14) Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 1970;2(2):92-8.
 - (15) Borg G. [Physical training. 3. Perceived exertion in physical work]. *Lakartidningen* 1970 Sep 30;67(40):4548-57.
 - (16) Borg G, Linderholm H. Exercise performance and perceived exertion in patients with coronary insufficiency, arterial hypertension and vasoregulatory asthenia. *Acta Med Scand* 1970 Jan;187(1-2):17-26.
 - (17) Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14(5):377-81.
 - (18) Braden DS, Strong WB. Cardiovascular responses to exercise in childhood. *Am J Dis Child* 1990 Nov;144(11):1255-60.
 - (19) Brandt I, Reinken L. [The growth rate of healthy children in the first 16 years: Bonn-Dortmund longitudinal developmental study]. *Klin Pädiatr* 1988 Nov;200(6):451-6.
 - (20) Brooks D, Solway S. Should the endurance shuttle walk test replace the six-minute walk test in individuals with chronic obstructive pulmonary disease? *Chron Respir Dis* 2006;3(1):1-2.
 - (21) Brostrom A, Hubbert L, Jakobsson P, Johansson P, Fridlund B, Dahlstrom U. Effects of long-term nocturnal oxygen treatment in patients with severe heart failure. *J Cardiovasc Nurs* 2005 Nov;20(6):385-96.
 - (22) Budev MM, Arroliga AC, Jennings CA. Diagnosis and evaluation of pulmonary hypertension. *Cleveland Clinic Journal Of Medicine* 2003;70(Supplement 1):S9-S17.
 - (23) Butland RJ, Pang J, Gross ER, Woodcock AA, Geddes DM. Two-, six-, and 12-minute walking tests in respiratory disease. *Br Med J (Clin Res Ed)* 1982 May 29;284(6329):1607-8.
 - (24) Camarri B, Eastwood PR, Cecins NM, Thompson PJ, Jenkins S. Six minute walk distance in healthy subjects aged 55-75 years. *Respir Med* 2006 Apr;100(4):658-65.
 - (25) Carbone R, Bossone E, Bottino G, Monselise A, Rubenfire M. Secondary pulmonary hypertension--diagnosis and management. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2005 Nov;9(6):331-42.
 - (26) Channick RN, Simonneau G, Sitbon O, Robbins IM, Frost A, Tapson VF, et al. Effects of the dual endothelin-receptor antagonist bosentan in patients with pulmonary hypertension: a randomised placebo-controlled study. *Lancet* 2001 Oct 6;358(9288):1119-23.
 - (27) Chaouat A, Canuet M, Kraemer JP, Enache I, Ducolone A, Kessler R, et al. [Physiological functional tests to evaluate pulmonary arterial hypertension.]. *Rev Mal Respir* 2005 Oct 11;112-6.

-
- (28) Chazova IE, Irodova NL, Krasnikova TL, Aref'eva TI, Lazutkina VK, Orlova I, et al. [Primary pulmonary hypertension: activation of sympathico-adrenal system and free radical oxidation. Positive effects of carvedilol therapy]. *Ter Arkh* 2005;77(4):66-72.
 - (29) Cockcroft AE, Saunders MJ, Berry G. Randomised controlled trial of rehabilitation in chronic respiratory disability. *Thorax* 1981 Mar;36(3):200-3.
 - (30) Cooper DM. Rethinking exercise testing in children: a challenge. *Am J Respir Crit Care Med* 1995 Oct;152(4 Pt 1):1154-7.
 - (31) Cooper DM, Weiler-Ravell D. Gas exchange response to exercise in children. *Am Rev Respir Dis* 1984 Feb;129(2 Pt 2):S47-S48.
 - (32) Cooper DM, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K. Growth-related changes in oxygen uptake and heart rate during progressive exercise in children. *Pediatr Res* 1984 Sep;18(9):845-51.
 - (33) Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA* 1968 Jan 15;203(3):201-4.
 - (34) Corra U, Bosimini E, Mezzani A, Giannuzzi P. [Suboptimal exercise test in chronic heart decompensation: the six-minute walking test]. *G Ital Cardiol* 1999 Dec;29(12):1593-600.
 - (35) Cumming GR, Everatt D, Hastman L. Bruce treadmill test in children: normal values in a clinic population. *Am J Cardiol* 1978 Jan;41(1):69-75.
 - (36) Cunha MT, Rozov T, Caitano de Oliveira R, Jardim JR. Six-minute walk test in children and adolescents with cystic fibrosis. *Pediatric Pulmonology* 2006 May 15;41(7):618-22.
 - (37) D'Alonzo GE, Barst RJ, McGoon MD, Caldwell EJ, Long WA, Levy PS. Survival in patients with primary pulmonary hypertension. *Ann Intern Med* 1991;115:343-9.
 - (38) Deboeck G, Niset G, Vachiere JL, Moraine JJ, Naeije R. Physiological response to the six-minute walk test in pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir J* 2005 Oct;26(4):667-72.
 - (39) Dekhuijzen PN, Kaptein AA, Dekker FW, Wagenaar JP, Janssen PJ. Twelve-minute walking test in a group of Dutch patients with chronic obstructive pulmonary diseases; relationship with functional capacity. *Eur J Respir Dis Suppl* 1986;146:259-64.
 - (40) Domenico PG, Opasich C, Mazza A, Tangenti A, Maestri R, Sanarico M. Reproducibility of the six-minute walking test in chronic heart failure patients. *Stat Med* 2000 Nov 30;19(22):3087-94.
 - (41) Donnelly JE, Jacobsen DJ, Jakicic JM, Whatley J, Gunderson S, Gillespie WJ, et al. Estimation of peak oxygen consumption from a sub-maximal half mile walk in obese females. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1992 Aug;16(8):585-9.

-
- (42) Dössegger L, et al. Comparison of the Effects of Cilazapril and Captopril versus Placebo on Exercise Testing in Chronic Heart failure patients: A double- blind, randomized multicenter trial. *Cardiology* 1995;86(suppl.11):34-40.
 - (43) Dourado VZ, Antunes LC, Tanni SE, de Paiva SA, Padovani CR, Godoy I. Relationship of Upper-Limb and Thoracic Muscle Strength to 6-min Walk Distance in COPD Patients. *Chest* 2006 Mar;129(3):551-7.
 - (44) Duncan GE, Howley ET, Johnson BN. Applicability of VO₂max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Med Sci Sports Exerc* 1997 Feb;29(2):273-8.
 - (45) Dunselman PH, Kuntze CE, van BA, Beekhuis H, Piers B, Scaf AH, et al. Value of New York Heart Association classification, radionuclide ventriculography, and cardiopulmonary exercise tests for selection of patients for congestive heart failure studies. *Am Heart J* 1988 Dec;116(6 Pt 1):1475-82.
 - (46) Elpern EH, Stevens D, Kesten S. Variability in performance of timed walk tests in pulmonary rehabilitation programs. *Chest* 2000 Jul;118(1):98-105.
 - (47) Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1998 Nov;158(5 Pt 1):1384-7.
 - (48) Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1998 Nov;158(5 Pt 1):1384-7.
 - (49) Ewert R, Opitz CF, Wensel R, Halank M, Winkler J, Lodziewski S, et al. [Assessment of Cardiopulmonary Function at Rest and during Exercise in Patients with Pulmonary Hypertension.]. *Herz* 2005 Jun;30(4):318-25.
 - (50) Eysmann SB, Palevsky HI, Reichek N, Hackney K, Douglas PS. Two-dimensional and Doppler-echocardiographic and cardiac catheterization correlates of survival in primary pulmonary hypertension. *Circulation* 1989 Aug;80(2):353-60.
 - (51) Faggiano P, D'Aloia A, Gualeni A, Lavatelli A, Giordano A. Assessment of oxygen uptake during the 6-minute walking test in patients with heart failure: preliminary experience with a portable device. *Am Heart J* 1997 Aug;134(2 Pt 1):203-6.
 - (52) Foley A, Halbert J, Hewitt T, Crotty M. Does hydrotherapy improve strength and physical function in patients with osteoarthritis--a randomised controlled trial comparing a gym based and a hydrotherapy based strengthening programme. *Ann Rheum Dis* 2003 Dec;62(12):1162-7.
 - (53) Francis GS, Rector TS. Maximal exercise tolerance as a therapeutic end point in heart failure--are we relying on the right measure? *Am J Cardiol* 1994 Feb 1;73(4):304-6.
 - (54) Garofano RP, Barst RJ. Exercise testing in children with primary pulmonary hypertension. *Pediatr Cardiol* 1999 Jan;20(1):61-4.
 - (55) Geiger R, Strasak A, Treml B, Gasser K, Kleinsasser A, Fischer V, et al. Six-minute walk test in children and adolescents. *J Pediatr* 2007;150(4):395-9.

-
- (56) Ghamra ZW, Dweik RA. Primary pulmonary hypertension: An overview of epidemiology and pathogenesis. *Cleveland Clinic Journal Of Medicine* 2003;70, Supplement 1:S2-S8.
- (57) Gibbons WJ, Fruchter N, Sloan S, Levy RD. Reference values for a multiple repetition 6-minute walk test in healthy adults older than 20 years. *J Cardiopulm Rehabil* 2001 Mar;21(2):87-93.
- (58) Gildea TR, Arroliga AC, Minai OA. Treatments and strategies to optimize the comprehensive management of patients with pulmonary arterial hypertension. *Cleveland Clinic Journal Of Medicine* 2003;70(Supplement 1):S18-S26.
- (59) Green J, McKenna F, Redfern EJ, Chamberlain MA. Home exercises are as effective as outpatient hydrotherapy for osteoarthritis of the hip. *Br J Rheumatol* 1993 Sep;32(9):812-5.
- (60) Guimaraes GV, Bellotti G, Bacal F, Mocelin A, Bocchi EA. Can the cardiopulmonary 6-minute walk test reproduce the usual activities of patients with heart failure? *Arq Bras Cardiol* 2002 Jun;78(6):553-60.
- (61) Gulmans VA, van Veldhoven NH, de MK, Helders PJ. The six-minute walking test in children with cystic fibrosis: reliability and validity. *Pediatr Pulmonol* 1996 Aug;22(2):85-9.
- (62) Guyatt GH, Pugsley SO, Sullivan MJ, Thompson PJ, Berman L, Jones NL, et al. Effect of encouragement on walking test performance. *Thorax* 1984 Nov;39(11):818-22.
- (63) Guyatt GH, Sullivan MJ, Thompson PJ, Fallen EL, Pugsley SO, Taylor DW, et al. The 6-Minute Walk - A New Measure of Exercise Capacity in Patients with Chronic Heart-Failure. *Canadian Medical Association Journal* 1985;132(8):919-23.
- (64) Haass M, Zugck C, Kubler W. [The 6 minute walking test: a cost-effective alternative to spiro-ergometry in patients with chronic heart failure?]. *Z Kardiol* 2000 Feb;89(2):72-80.
- (65) Hamilton DM, Haennel RG. Validity and reliability of the 6-minute walk test in a cardiac rehabilitation population. *J Cardiopulm Rehabil* 2000 May;20(3):156-64.
- (66) Harada ND, Chiu V, Stewart AL. Mobility-related function in older adults: assessment with a 6-minute walk test. *Arch Phys Med Rehabil* 1999 Jul;80(7):837-41.
- (67) Hayes DL, Von Feldt L, Higano ST. Standardized informal exercise testing for programming rate adaptive pacemakers. *Pace* 1991;14(2):1772-6.
- (68) Hebestreit H, et al. Ergometrie im Kindes- und Jugendalter. *Ergometrie im Kindes- und Jugendalter* 1997;145:1326-36.
- (69) Hebestreit H, Staschen B, Hebestreit A. Ventilatory threshold: a useful method to determine aerobic fitness in children? *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(11):1964-9.

-
- (70) Hebestreit H. Exercise testing in children -- what works, what doesn't, and where to go? *Paediatr Respir Rev* 2004;5 Suppl A:S11-4.:S11-S14.
- (71) Hinderliter AL, Willis PW, Barst RJ, Rich S, Rubin LJ, Badesch DB, et al. Effects of long-term infusion of prostacyclin (epoprostenol) on echocardiographic measures of right ventricular structure and function in primary pulmonary hypertension. Primary Pulmonary Hypertension Study Group. *Circulation* 1997 Mar 18;95(6):1479-86.
- (72) Hoffmann J, et al. 6- Minuten Gehtest versus Fahrradergometrie bei Patienten mit dilatativer Kardiomyopathie. *Z Kardiol* 1997;86(suppl.3):55.
- (73) Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27(9):1292-301.
- (74) Humpl T, Reyes JT, Holtby H, Stephens D, Adatia I. Beneficial effect of oral sildenafil therapy on childhood pulmonary arterial hypertension: twelve-month clinical trial of a single-drug, open-label, pilot study. *Circulation* 2005 Jun 21;111(24):3274-80.
- (75) Iriberry M, Galdiz JB, Gorostiza A, Ansola P, Jaca C. Comparison of the distances covered during 3 and 6 min walking test. *Respir Med* 2002 Oct;96(10):812-6.
- (76) James FW, Blomqvist CG, Freed MD, Miller WW, Moller JH, Nugent EW, et al. Standards for exercise testing in the pediatric age group. American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young. Ad hoc committee on exercise testing. *Circulation* 1982 Dec;66(6):1377A-97A.
- (77) Jorquera Guillen MA, Salcedo PA, Villa A, Jr., Giron Moreno RM, Neira Rodriguez MA, Sequeiros GA. [Reproducibility of the walking test in patients with cystic fibrosis]. *An Esp Pediatr* 1999 Nov;51(5):475-8.
- (78) Jungbauer JS, Fuller B. Feasibility of a multi-state outcomes program for cardiopulmonary rehabilitation. *J Cardiopulm Rehabil* 1999 Nov;19(6):352-9.
- (79) Kaddoura S, Patel D, Parameshwar J, Sparrow J, Park A, Bayliss J, et al. Objective assessment of the response to treatment of severe heart failure using a 9-minute walk test on a patient-powered treadmill. *J Card Fail* 1996 Jun;2(2):133-9.
- (80) Keell SD, Chambers JS, Francis DP, Edwards DF, Stables RH. Shuttle-walk test to assess chronic heart failure. *Lancet* 1998 Aug 29;352(9129):705.
- (81) Kervio G, Carre F, Ville NS. Reliability and intensity of the six-minute walk test in healthy elderly subjects. *Med Sci Sports Exerc* 2003 Jan;35(1):169-74.
- (82) Kervio G, Ville NS, Leclercq C, Daubert JC, Carre F. [Use of the six-minute walk test in cardiology]. *Arch Mal Coeur Vaiss* 2005 Dec;98(12):1219-24.
- (83) Kienast W, Kasbohm M. Fahrradergometrie im kontinuierlichen maximalen Protokoll zur Beurteilung der kardialen Leistungsfähigkeit im Jugendalter. *Z Kardiol* 1993;82:65-70.

-
- (84) King S, Wessel J, Bhambhani Y, Maikala R, Sholter D, Maksymowych W. Validity and reliability of the 6 minute walk in persons with fibromyalgia. *The journal of rheumatology* 1999;26(10):2233-7.
- (85) Knox AJ, Morrison JF, Muers MF. Reproducibility of walking test results in chronic obstructive airways disease. *Thorax* 1988 May;43(5):388-92.
- (86) Lammers AE, Hislop AA, Flynn Y, Haworth SG. Epoprostenol treatment in children with severe pulmonary hypertension. *Heart* 2007 Jun;93(6):739-43.
- (87) Lammers AE, Hislop AA, Flynn Y, Haworth SG. The six-minute walk test: Normal values for children of 4-11 years of age. *Arch Dis Child* 2007 Aug 3;Epub ahead of print.
- (88) Langenfeld H, Schneider B, Grimm W, Beer M, Knoche M, Riegger G, et al. The six-minute walk--an adequate exercise test for pacemaker patients? *Pacing Clin Electrophysiol* 1990 Dec;13(12 Pt 2):1761-5.
- (89) Larson JL, Covey MK, Vitalo CA, Patel CGAM, Kim M.J. Reliability and validity of the 12-minute distance walk in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Nursing research* 1996;45(4):203-10.
- (90) Leger LA, Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1982;49(1):1-12.
- (91) Li AM, Yin J, Au JT, So HK, Tsang T, Wong E, et al. Standard Reference for the Six-Minute-Walk Test in Healthy Children Aged 7 to 16 Years. *Am J Respir Crit Care Med* 2007;176:174-80.
- (92) Li AM, Yin J, Yu CC, Tsang T, So HK, Wong E, et al. The six-minute walk test in healthy children: reliability and validity. *Eur Respir J* 2005 Jun;25(6):1057-60.
- (93) Lipkin DP, Scriven AJ, Crake T, Poole-Wilson PA. Six minute walking test for assessing exercise capacity in chronic heart failure. *Br Med J (Clin Res Ed)* 1986 Mar 8;292(6521):653-5.
- (94) Lorenz K et al. Normwertbestimmung und -nutzung von Atmungsgrößen und Parametern der körperlichen Leistungsfähigkeit im Kindesalter. *Dt Gesundheitswesen* 1975;30(44):2089-96.
- (95) Lucas C, Warner Stevenson L., artley H., amilton MA, alden J, em V, et al. The 6-min walk and peak oxygen consumption in advanced heart failure: Aerobic capacity and survival. *Am Heart J* 1998;138(4):618-24.
- (96) Maiya S, Hislop AA, Flynn Y, Haworth SG. Response to bosentan in children with pulmonary hypertension. *Heart* 2006;92:664-70.
- (97) Maksud MG, Coutts KD. Application of the Cooper twelve-minute run-walk test to young males. *Res Q* 1971 Mar;42(1):54-9.
- (98) Mathur RS, Revill SM, Vara DD, Walton R, Morgan MD. Comparison of peak oxygen consumption during cycle and treadmill exercise in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1995 Aug;50(8):829-33.

-
- (99) McGavin CR, Artvinli M, Naoe H, McHardy GJ. Dyspnoea, disability, and distance walked: comparison of estimates of exercise performance in respiratory disease. *Br Med J* 1978 Jul 22;2(6132):241-3.
- (100) McGavin CR, Gupta SP, McHardy GJ. Twelve-minute walking test for assessing disability in chronic bronchitis. *Br Med J* 1976 Apr 3;1(6013):822-3.
- (101) Miller KL, Kocak Z, Kahn D, Zhou SM, Baydush A, Hollis D, et al. Preliminary report of the 6-minute walk test as a predictor of radiation-induced pulmonary toxicity. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005 Jul 15;62(4):1009-13.
- (102) Miyamoto S, Nagaya N, Satoh T, Kyotani S, Sakamaki F, Fujita M, et al. Clinical correlates and prognostic significance of six-minute walk test in patients with primary pulmonary hypertension. Comparison with cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2000 Feb;161(2 Pt 1):487-92.
- (103) Moalla W, Gauthier R, Maingourd Y, Ahmaidi S. Six-minute walking test to assess exercise tolerance and cardiorespiratory responses during training program in children with congenital heart disease. *Int J Sports Med* 2005 Nov;26(9):756-62.
- (104) Mocellini R, Gildein P. Ergometrie in der Pädiatrie. In: Löllgen H, Winter UJ, Erdmann E, editors. *Ergometrie: Belastungsuntersuchungen in Theorie und Praxis*. Berlin / Heidelberg: Springer; 1997. p. 287-99.
- (105) Montgomery PS, Gardner AW. The clinical utility of a six-minute walk test in peripheral arterial occlusive disease patients. *J Am Geriatr Soc* 1998 Jun;46(6):706-11.
- (106) Morice A, Smithies T. The 100 m walk: a simple and reproducible exercise test. *Br J Dis Chest* 1984 Oct;78(4):392-4.
- (107) Mungall IP, Hainsworth R. Assessment of respiratory function in patients with chronic obstructive airways disease. *Thorax* 1979 Apr;34(2):254-8.
- (108) Nixon PA, Joswiak ML, Fricker FJ. A six-minute walk test for assessing exercise tolerance in severely ill children. *J Pediatr* 1996 Sep;129(3):362-6.
- (109) Noeggerath C, Azone L. Leibesübungen im Kindesalter nach wissenschaftlichen und praktischen Gesichtspunkten. Leipzig: F.C.W. Vogel; 1927. p. 9-12.
- (110) Oja P, Laukkanen R, Pasanen M, Tyry T, Vuori I. A 2-km walking test for assessing the cardiorespiratory fitness of healthy adults. *Int J Sports Med* 1991 Aug;12(4):356-62.
- (111) Olschewski H, Ghofrani A, Wiedemann R, Rose F, Enke B, Gessler T, et al. [Pulmonary hypertension]. *Internist (Berl)* 2002 Dec;43(12):1498, 1501-498, 1509.
- (112) Olschewski H, Simonneau G, Galie N, Higenbottam T, Naeije R, Rubin LJ, et al. Inhaled iloprost for severe pulmonary hypertension. *N Engl J Med* 2002 Aug 1;347(5):322-9.

-
- (113) Opasich C, Pinna GD, Mazza A, Febo O, Riccardi R, Riccardi PG, et al. Six-minute walking performance in patients with moderate-to-severe heart failure; is it a useful indicator in clinical practice? *Eur Heart J* 2001 Mar;22(6):488-96.
- (114) Oudiz RJ, Barst RJ, Hansen JE, Sun XG, Garofano R, Wu X, et al. Cardiopulmonary exercise testing and six-minute walk correlations in pulmonary arterial hypertension. *Am J Cardiol* 2006 Jan 1;97(1):123-6.
- (115) Paap E, Van Der NJ, Helder PJ, Takken T. Physiologic response of the six-minute walk test in children with juvenile idiopathic arthritis. *Arthritis Rheum* 2005 Jun 15;53(3):351-6.
- (116) Palange P, Forte S, Onorati P, Manfredi F, Serra P, Carlone S. Ventilatory and metabolic adaptations to walking and cycling in patients with COPD. *J Appl Physiol* 2000 May;88(5):1715-20.
- (117) Pankoff B., Overend T., Lucy D., White K. Validity and responsiveness of the 6 minute walk test for people with fibromyalgia. *The journal of rheumatology* 2000;27(11):2666-70.
- (118) Payne GE, Skehan JD. Shuttle walking test: a new approach for evaluating patients with pacemakers. *Heart* 1996 Apr;75(4):414-8.
- (119) Peeters P, Mets T. The 6-minute walk as an appropriate exercise test in elderly patients with chronic heart failure. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1996 Jul;51(4):M147-M151.
- (120) Perepech NB, Kutuzova AE, Nedoshivin AO. [Six-minute walking test for the evaluation of the status of patients with chronic cardiac failure]. *Klin Med (Mosk)* 2000;78(12):31-3.
- (121) Provenier F, Jordaens L. Evaluation of six minute walking test in patients with single chamber rate responsive pacemakers. *Br Heart J* 1994 Aug;72(2):192-6.
- (122) Redelmeier DA, Bayoumi AM, Goldstein RS, Guyatt GH. Interpreting small differences in functional status: the Six Minute Walk test in chronic lung disease patients. *Am J Respir Crit Care Med* 1997 Apr;155(4):1278-82.
- (123) Reinken L, van OG. [Longitudinal physical development of healthy children 0 to 18 years of age. Body length/height, body weight and growth velocity]. *Klin Padiatr* 1992 May;204(3):129-33.
- (124) Revill SM, Morgan MDL, Singh SJ, Williams J, Hardman AE. The endurance shuttle walk: a new field test for the assessment of endurance capacity in chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1999;54:213-22.
- (125) Riley M, McParland J, Stanford C.F., Nicholls DP. Oxygen consumption during corridor walk testing in chronic cardiac failure. *Eur Heart J* 1992;13:789-93.
- (126) Roomi J, Johnson MM, Waters K, Yohannes A, Helm A, Connolly MJ. Respiratory rehabilitation, exercise capacity and quality of life in chronic airways disease in old age. *Age Ageing* 1996 Jan;25(1):12-6.

-
- (127) Roul G, Germain P.G., Bareiss P. Does the 6-minute walk test predict the prognosis in patients with NYHA class II or III chronic heart failure? *Am Heart J* 1998;136(3):449-57.
- (128) Rowland TW. Aerobic exercise testing protocols 302. In: Rowland TW, editor. *Pediatric laboratory exercise testing: clinical guidelines*. Champaign, Illinois: Human kinetics; 1993. p. 19-41.
- (129) Rubin LJ. Primary pulmonary hypertension. *N Engl J Med* 1997;336:111-7.
- (130) Safrit M. The validity and reliability of fitness tests for children: A review. *Pediatric exercise science* 1990;2:9-28.
- (131) Satake M, et al. Ventilatory responses to six-minute walk test, Incremental shuttle walking test, and cycle ergometer test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Biomedical research* 2003;24(6):309-16.
- (132) Schranz D. Pulmonale Hypertension im Kindes- und Jugendalter. *Monatsschrift Kinderheilkunde* 2003;151:424-41.
- (133) Schulze-Neick I, Breuer J, Kreuder J. Pulmonale Hypertonie. <http://www.uni-duesseldorf.de/awmf/11/023-005.htm> . 2005.
- (134) Sinclair DJ, Ingram CG. Controlled trial of supervised exercise training in chronic bronchitis. *Br Med J* 1980 Feb 23;280(6213):519-21.
- (135) Singh SJ, Morgan MD, Scott S, Walters D, Hardman AE. Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax* 1992 Dec;47(12):1019-24.
- (136) Solway S, Brooks D, Lacasse Y, Thomas S. A qualitative systematic overview of the measurement properties of functional walk tests used in the cardiorespiratory domain. *Chest* 2001 Jan;119(1):256-70.
- (137) Spence DP, Hay JG, Carter J, Pearson MG, Calverley PM. Oxygen desaturation and breathlessness during corridor walking in chronic obstructive pulmonary disease: effect of oxitropium bromide. *Thorax* 1993 Nov;48(11):1145-50.
- (138) Spiro SG, Juniper E, Bowman P, Edwards RH. An increasing work rate test for assessing the physiological strain of submaximal exercise. *Clin Sci Mol Med* 1974 Feb;46(2):191-206.
- (139) Steele B. Timed walking tests of exercise capacity in chronic cardiopulmonary illness. *J Cardiopulmonary Rehabil* 1996;16:25-33.
- (140) Stricker H, Domenighetti G, Fiori G, Mombelli G. Sustained improvement of performance and haemodynamics with long-term aerosolised prostacyclin therapy in severe pulmonary hypertension. *Schweiz Med Wochenschr* 1999 Jun;129(24):923-7.
- (141) Strijbos JH, Postma DS, Van AR, Gimeno F, Koeter GH. A comparison between an outpatient hospital-based pulmonary rehabilitation program and a home-care

- pulmonary rehabilitation program in patients with COPD. A follow-up of 18 months. *Chest* 1996 Feb;109(2):366-72.
- (142) Strijbos JH, Postma DS, Van AR, Gimeno F, Koeter GH. Feasibility and effects of a home-care rehabilitation program in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil* 1996 Nov;16(6):386-93.
- (143) Swinburn CR, Wakefield JM, Jones PW. Performance, ventilation, and oxygen consumption in three different types of exercise test in patients with chronic obstructive lung disease. *Thorax* 1985 Aug;40(8):581-6.
- (144) Takken T, Van Der NJ, Kuis W, Helders PJ. Aquatic fitness training for children with juvenile idiopathic arthritis. *Rheumatology (Oxford)* 2003 Nov;42(11):1408-14.
- (145) Troosters T, Gosselink R, Decramer M. Six minute walking distance in healthy elderly subjects
178. *Eur Respir J* 1999 Aug;14(2):270-4.
- (146) Troosters T, Gosselink R, Decramer M. Six-minute walk test: a valuable test, when properly standardized. *Phys Ther* 2002 Aug;82(8):826-7.
- (147) Troosters T, Vilaro J, Rabinovich R, Casas A, Barbera JA, Rodriguez-Roisin R, et al. Physiological responses to the 6-min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J* 2002 Sep;20(3):564-9.
- (148) Upton CJ, Tyrrell JC, Hiller EJ. Two minute walking distance in cystic fibrosis. *Arch Dis Child* 1988 Dec;63(12):1444-8.
- (149) van Stel HF, Bogaard JM, Rijssenbeek-Nouwens LH, Colland VT. Multivariable assessment of the 6-min walking test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2001 Jun;163(7):1567-71.
- (150) Verrill DE, Barton C, Beasley W, Lippard M, King CN. Six-minute walk performance and quality of life comparisons in North Carolina cardiac rehabilitation programs. *Heart Lung* 2003 Jan;32(1):41-51.
- (151) Vinzelberg S. Inauguraldissertation: Untersuchungen zum Normwertverhalten spirometrischer Parameter bei Kindern und Jugendlichen mit besonderer Berücksichtigung der maximalen Sauerstoffaufnahme und der ventilatorischen anaeroben Schwelle Universitäts- Kinder- und Jugendklinik Rostock, Abteilung für Pädiatrische Kardiologie; 2000.
- (152) Warner Stevenson L, Lucas C, Hamilton M, Fonarow G, Creaser J, Janovsky V. Six-minute- walk compared to peak and low- level aerobic capacity in 302 patients with heart failure. *JACC* 981, 52. 1995.
- (153) Washington RL, Bricker JT, Alpert BS, Daniels SR, Deckelbaum RJ, Fisher EA, et al. Guidelines for exercise testing in the pediatric age group. From the Committee on Atherosclerosis and Hypertension in Children, Council on Cardiovascular Disease in the Young, the American Heart Association. *Circulation* 1994 Oct;90(4):2166-79.

- (154) Widlitz AC, Barst RJ, Horn EM. Sitaxsentan: a novel endothelin-A receptor antagonist for pulmonary arterial hypertension. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 2005 Nov;3(6):985-91.
- (155) Wijkstra PJ, TenVergert EM, van der Mark TW, Postma DS, Van AR, Kraan J, et al. Relation of lung function, maximal inspiratory pressure, dyspnoea, and quality of life with exercise capacity in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1994 May;49(5):468-72.
- (156) Wilson RC, Jones PW. A comparison of the visual analogue scale and modified Borg scale for the measurement of dyspnoea during exercise. *Clin Sci (Lond)* 1989 Mar;76(3):277-82.
- (157) Woo MA, Moser DK, Stevenson LW, Stevenson WG. Six-minute walk test and heart rate variability: lack of association in advanced stages of heart failure. *Am J Crit Care* 1997 Sep;6(5):348-54.
- (158) Zugck C, Kruger C, Durr S, Gerber SH, Haunstetter A, Hornig K, et al. Is the 6-minute walk test a reliable substitute for peak oxygen uptake in patients with dilated cardiomyopathy? *Eur Heart J* 2000 Apr;21(7):540-9.

11. Publierte Abstracts

1. Herkommer A, Meyer A, Kienast W. Der Sechs-Minuten-Gehtest: Ein Belastungstest für Kinder und Jugendliche mit deutlich eingeschränkter körperlicher Leistungsfähigkeit. Posterpräsentation und Kurzvortrag auf der Jahrestagung der DGPK, Oktober 2004, Weimar. Zeitschrift für Kardiologie, Band 93, Heft 9 (2004), S. 727, PP1

2. Herkommer A, Meyer A, Kienast W. Der Sechs-Minuten-Gehtest als Belastungstest für Kinder und Jugendliche mit deutlich eingeschränkter körperlicher Belastungsfähigkeit. Posterpräsentation auf der 102. Jahrestagung der DGKJ, September 2006, Mainz. Abstactband: DGKJ-PS-39, S. 122-123

12. Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die Untersuchungen erfolgten von April 2002 bis Oktober 2005. Die Aufklärung und Anleitung zum Sechs-Minuten-Gehtest sowie die Überwachung während der Durchführung erfolgte durch mich. Die Untersuchungen, deren Ergebnisse ich in der vergleichenden Analyse ausgewertet habe (z.B. Fahrradspiroergometrie, Echokardiographie, Herzkatheteruntersuchung und Hämatokrit-Bestimmung, Festlegung des NYHA-Stadiums) wurden von ausgebildetem Fachpersonal nach standardisierten Methoden in der Abteilung für Pädiatrische Kardiologie der Universitäts-Kinder-und Jugendklinik Rostock durchgeführt.

Rostock, 15.01.2008

Anne Nissel

13. Tabellarischer Anhang

Charakteristika der gesunden Probanden siehe nächste Seite.

Name	m/w	Alter (a)	AG	Größe (m)	KG (kg)	BMI	BMI (Perz.)	6MGSTR1	6MGSTR2	6MGSTR3	6MGSTRMittel	Borg Mittel	Sport (h/Wo.)	W _{max} (%d.A.)	VO _{2max} (%d.A.)	VAT (%d.A.)
L.S.	w	15	3	1,64	60	22,3	76.-90.	692	685	720	699	1	≤3	0	0	0
S.C.	w	13,7	2	1,64	59	21,9	91.-97.	635	640	642	639	3	≤3	0	0	0
H.J.	w	13,3	2	1,53	49,3	21,1	91.-97.	690	725	750	722	4	≤8	0	0	0
K.K.	w	16,1	3	1,75	70	22,9	76.-90.	776	777	800	784	4	≤3	0	0	0
M.S.	w	15,9	3	1,68	66	23,4	91.-97.	719	743	743	735	3	≤3	0	0	0
L.A.	w	15,4	3	1,55	43	17,9	11.-25.	627	640	660	642	7	≤3	0	0	0
B.S.	m	15,2	3	1,69	53,9	18,9	26.-50	657	689	652	666	3	≤3	84	86	79
K.G.	w	16,4	3	1,7	55,4	19,2	26.-50	667	682	705	675	2	≤3	96	101	0
B.J.	w	12,9	2	1,59	49	19,4	51.-75.	710	770	785	755	3	≤3	91	94	0
R.J.	m	7,6	1	1,3	26	15,4	26.-50	631	679	700	670	0	≤8	0	0	0
R.C.	m	16,4	3	1,8	74	22,8	76.-90.	704	649	658	670	2	≤3	0	0	0
N.S.	w	15,2	3	1,63	46,5	17,5	11.-25.	766	719	752	746	2	≤3	0	0	0
D.J.	w	14,5	3	1,7	64,5	22,3	91.-97.	720	684	721	708	2	≤3	93	82	83
F.C.	w	13,1	2	1,67	52	18,6	51.-75.	700	713	0	707	3	≤3	0	0	0
P.J.	m	15,7	3	1,83	81	24,2	91.-97.	841	844	833	839	5	≤3	84	81	0
F.L.	w	10,7	2	1,47	37	17,1	51.-75.	777	790	808	792	2	≤3	0	0	0
F.A.	m	9,4	2	1,46	39	18,3	91.-97.	690	676	702	689	3	≤3	0	0	0
S.M.	m	12,7	2	1,69	57,8	20,2	76.-90.	840	835	847	841	2	≤3	0	0	0
H.J.	m	12,3	2	1,62	41,3	15,7	11.-25.	791	786	829	802	2	≤8	0	0	0
H.J.	m	12,3	2	1,63	40	15,1	3.-10.	844	859	860	854	4	≤8	0	0	0
P.L.	w	13,1	2	1,67	49,9	17,9	26.-50	690	676	683	683	1	≤3	84	80	0
R.C.	m	17,4	3	1,79	61,7	19,3	26.-50	581	642	644	622	4	≤3	0	0	0
B.S.	w	14,2	3	1,52	49	21,2	76.-90.	624	629	637	630	5	≤3	0	0	0
K.T.	m	15	3	1,74	59,5	19,7	51.-75.	679	601	639	640	1	≤3	82	77	0
K.A.	w	12,8	2	1,7	59	20,4	76.-90.	766	759	763	763	3	≤3	97	94	0
S.K.	w	18	3	1,71	61,8	21,1	51.-75.	648	669	675	664	3	≤3	0	0	0
S.M.	w	15	3	1,62	50,7	19,3	26.-50	736	677	780	731	5	≤3	100	75	76
L.R.	m	15,2	3	1,86	71	20,5	51.-75.	719	722	755	732	3	≤3	0	0	0
S.L.	w	14,5	3	1,63	62,3	23,4	91.-97.	700	666	661	676	9	≤3	0	0	0
W.M.	w	11,9	2	1,61	43,4	16,7	26.-50	672	613	651	645	6	≤3	97	95	0

Name	m/w	Alter (a)	AG	Größe (m)	KG (kg)	BMI	BMI (Perz.)	6MGSTR1	6MGSTR2	6MGSTR3	6MGSTRMittel	Borg Mittel	Sport (h/Wo.)	W _{max} (%d.A.)	V _{O₂max} (%d.A.)	VAT (%d.A.)
S.L.	w	7,7	1	1,24	23,9	15,5	51.-75.	623	601	555	593	4	≤3	0	0	0
B.T.	w	13,9	2	1,73	56	18,7	26.-50	714	696	788	733	8	≤3	84	75	0
R.P.	m	7,5	1	1,3	28	16,6	76.-90.	702	691	734	709	1	≤3	0	0	0
B.C.	m	14,5	3	1,67	47	16,9	11.-25.	707	709	0	708	2	≤3	80	79	0
R.A.	m	7,9	1	1,32	26,7	15,3	26.-50	596	620	621	612	3	≤3	0	0	0
S.C.	m	17	3	1,83	70,5	21,1	51.-75.	597	692	672	654	2	≤3	0	0	0
Z.M.	m	13,6	2	1,66	41,3	15	3.-10.	672	702	687	687	3	≤3	0	0	0
W.L.	w	10,2	2	1,43	31,4	15,4	26.-50	622	640	651	638	6	≤3	0	0	0
R.M.	m	15,8	3	1,79	63,8	19,9	51.-75.	788	792	782	787	4	≤3	0	0	0
P.N.	w	16,5	3	1,6	52,8	20,6	51.-75.	688	688	0	688	4	≤3	0	0	0
B.A.	w	11,6	2	1,52	39	16,9	51.-75.	645	700	691	679	3	≤3	0	0	0
A.S.	w	11,8	2	1,63	44,5	16,7	26.-50	770	720	743	744	4	≤3	97	94	74
U.L.	m	17,8	3	1,78	73	23	76.-90.	703	686	699	696	5	≤3	92	86	75
W.N.	w	12,8	2	1,62	45,2	17,2	26.-50	706	666	658	677	2	≤3	0	0	0
N.K.	w	13,4	2	1,52	37	16	11.-25.	637	642	0	640	5	≤3	105	96	88
J.S.	w	16,4	3	1,68	53	18,8	11.-25.	786	755	757	766	1	≤8	125	119	112
M.W.	w	9,5	2	1,37	26,7	14,2	11.-25.	689	640	651	660	1	≤3	0	0	0
B.S.	w	14,9	3	1,69	52,3	18,3	26.-50	631	633	641	635	3	≤8	0	0	0
H.L.	w	16,5	3	1,68	62,5	22,1	76.-90.	740	750	0	745	4	≤3	107	98	0
G.K.	w	16	3	1,67	57	20,4	51.-75.	621	654	657	644	5	≤3	108	91	72
G.A.	w	14,3	3	1,54	44,2	18,6	26.-50	640	640	643	641	3	≤3	125	116	109
J.M.-S.	w	13,2	2	1,44	41,5	20	76.-90.	690	719	749	719	4	≤3	106	106	0
H.J.	w	15,6	3	1,65	59	21,7	76.-90.	653	685	675	671	5	≤3	100	88	0
G.C.	w	16,6	3	1,62	53	20,2	51.-75.	694	756	745	725	2	≤3	112	108	0
S.H.	w	15,2	3	1,75	52,2	17	3.-10.	735	721	724	727	2	≤3	125	106	115
K.E.	m	13,1	2	1,67	54	19,4	76.-90.	720	730	733	728	4	≤3	0	0	0
M.A.	w	15,2	3	1,66	50	18,1	11.-25.	641	636	637	638	3	≤3	92	84	0
S.S.	w	13,2	2	1,57	48,4	19,6	76.-90.	749	750	721	740	5	≤3	114	100	81
B.C.	m	17,2	3	1,93	88	23,1	76.-90.	875	800	844	840	6	≤3	68	75	0
G.A.	w	16,5	3	1,69	62	21,7	51.-75.	673	644	674	664	3	≤3	100	85	0

Name	m/w	Alter (a)	AG	Größe (m)	KG (kg)	BMI	BMI (Perz.)	6MGSTR1	6MGSTR2	6MGSTR3	6MGSTRMittel	Borg Mittel	Sport (h/Wo.)	W _{max} (%d.A.)	VO _{2max} (%d.A.)	VAT (%d.A.)
H.K.	w	18,9	3	1,79	81	25,3	91.-97.	744	762	736	747	5	≤3	0	0	0
R.N.	m	14,3	3	1,75	57,7	18,8	51.-75.	742	775	762	760	4	≤3	95	88	95
R.S.	m	5,5	1	1,2	20	13,9	26.-50	601	621	0	611	1	0	0	0	0
P.C.	w	5,8	1	1,2	21	14,6	26.-50	583	583	637	601	0	≤3	0	0	0
K.R.	m	16,3	3	1,72	55	18,6	26.-50	677	671	669	672	2	≤8	99	100	100
L.F.	m	17,7	3	1,8	70	21,6	51.-75.	680	696	699	692	4	≤3	0	0	0
D.J.	m	14,9	3	1,83	58	17,3	11.-25.	646	700	691	679	2	≤3	0	0	0
T.J.	m	9,7	2	1,42	30	14,9	11.-25.	650	626	643	640	5	≤3	87	83	0
D.L.	m	8,6	2	1,3	28	16,6	51.-75.	652	665	686	668	0	≤8	0	0	0
D.L.	w	6,5	1	1,27	26	16,1	76.-90.	611	620	636	622	0	≤3	0	0	0
S.C.	w	14,9	3	1,58	45,8	18,3	26.-50	657	663	653	658	5	≤8	105	104	73
L.L.	w	13,7	2	1,64	59	21,9	91.-97.	672	673	693	679	5	≤8	96	86	91
A.S.	m	16,2	3	1,85	63,8	18,6	26.-50	726	750	773	750	1	≤8	0	0	0
K.T.	m	7,4	1	1,3	26,7	15,8	51.-75.	575	605	655	612	0	≤3	75	76	0
M.K.	w	17,2	3	1,79	73,4	22,9	76.-90.	689	690	687	689	3	≤3	73	65	54
A.S.	m	15,9	3	1,69	57	20	51.-75.	700	748	802	750	2	≤8	0	0	0
S.R.	w	15,8	3	1,59	53	21	51.-75.	622	652	655	643	2	≤8	96	84	74
F.C.	w	15,7	3	1,62	58	22,1	76.-90.	639	631	621	630	3	≤8	94	83	78
B.T.	m	12,8	2	1,59	40	15,8	11.-25.	631	630	633	631	3	≤3	65	78	0
H.M.	w	17,8	3	1,71	58,5	20	26.-50	647	700	681	676	5	0	0	0	0
K.R.	m	17,9	3	1,78	77	24,3	91.-97.	840	762	838	813	2	≤8	94	90	61
L.A.	m	14,7	3	1,61	46	17,7	26.-50	700	736	714	717	1	≤8	95	91	77
K.S.	m	14,4	3	1,77	66,6	21,3	91.-97.	663	640	721	675	1	≤8	96	82	78
G.A.	w	14,2	3	1,67	59,5	21,3	76.-90.	716	739	676	710	2	≤3	79	51	74
R.N.	m	15,8	3	1,84	75	22,2	76.-90.	747	787	792	775	3	≤3	79	77	0
M.F.	m	16,9	3	1,93	80	21,5	51.-75.	737	770	785	764	5	≤8	0	0	0
M.F.	w	9,6	2	1,36	30	16,2	51.-75.	691	682	688	687	3	≤8	103	100	0
F.J.	w	14,5	3	1,61	58	22,4	76.-90.	723	692	717	711	3	≤3	75	75	0
S.M.	m	16,2	3	1,78	78	24,6	91.-97.	752	757	761	757	4	≤3	76	52	0
S.W.	w	15,9	3	1,69	63,5	22,2	76.-90.	633	701	707	680	5	≤3	99	88	0

Name	m/w	Alter (a)	AG	Größe (m)	KG (kg)	BMI	BMI (Perz.)	6MGSTR1	6MGSTR2	6MGSTR3	6MGSTRMittel	Borg Mittel	Sport (h/Wo.)	W _{max} (%d.A.)	VO _{2max} (%d.A.)	VAT (%d.A.)
S.K.	w	10,8	2	1,52	36	15,6	26.-50	737	752	768	752	2	≤3	0	0	0
I.A.	w	11,2	2	1,36	32,4	17,5	51.-75.	622	617	624	621	2	≤3	0	0	0
S.M.	w	16	3	1,69	64	22,4	76.-90.	640	640	640	640	5	≤3	0	0	0
N.S.	w	11,5	2	1,52	35	15,1	11.-25.	681	685	689	685	3	≤8	80	71	83
K.K.	w	18,1	3	1,7	54	18,7	11.-25.	752	757	769	759	4	≤3	90	71	72
M.H.	w	16,8	3	1,79	76,5	23,9	91.-97.	615	622	643	627	4	0	89	62	0
Z.S.	w	15,3	3	1,59	48,5	19,2	26.-50	672	688	663	674	4	≤3	89	77	0
B.M.	w	15,9	3	1,78	54	17	3.-10.	733	687	0	710	6	≤3	93	84	0
W.A.	w	14,6	3	1,65	63,5	23,3	91.-97.	630	651	653	645	5	≤8	93	83	0
H.E.	w	13	2	1,68	57	20,2	76.-90.	720	737	741	733	3	≤3	84	57	0
H.E.	m	5,8	1	1,24	21,1	13,7	3.-10.	565	572	580	572	0	≤3	0	0	0
S.C.	w	15,8	3	1,65	66	24,2	91.-97.	641	662	713	672	1	≤3	75	84	0
K.S.	w	12,1	2	1,53	47	20,1	91.-97.	708	730	0	719	3	≤8	119	93	86
K.R.	w	6,8	1	1,15	17,3	13,1	3.-10.	612	601	623	612	0	0	0	0	0
S.D.	m	5,9	1	1,3	24	14,2	11.-25.	611	657	0	634	0	≤3	0	0	0
H.C.	m	6,5	1	1,29	24	14,4	11.-25.	580	598	0	589	0	≤3	0	0	0
K.N.	w	16,3	3	1,6	47	18,4	11.-25.	773	779	779	777	4	≤3	103	114	133
M-A.K.	w	13,3	2	1,68	57	20,2	76.-90.	779	829	800	803	7	≤3	97	84	0
S.C.	w	9,5	2	1,32	29	16,6	51.-75.	706	690	693	696	2	≤8	0	0	0
S.Z.	m	5,5	1	1,22	20,5	13,8	3.-10.	617	623	0	620	0	0	0	0	0
B.L.	m	5,8	1	1,23	22	14,5	11.-25.	629	633	641	634	0	0	0	0	0
W.T.	m	8,5	2	1,31	28	16,3	51.-75.	685	672	678	678	3	≤3	0	0	0
G.M.	w	13,6	2	1,63	59	22,2	91.-97.	640	677	681	666	2	≤3	0	0	0
T.P.	m	15,7	3	1,68	58	20,5	51.-75.	736	735	737	736	3	≤3	87	67	60
E.S.	w	16,1	3	1,54	51	21,5	51.-75.	621	681	666	656	1	≤8	0	0	0
S.S.	w	17,1	3	1,78	65	20,6	51.-75.	711	706	710	709	6	≤8	100	78	62
F.L.	w	13,1	2	1,55	54	22,5	91.-97.	740	746	0	743	6	≤3	84	73	63
B.S.	w	14,5	3	1,75	51	16,7	11.-25.	720	769	756	748	4	≤3	129	95	94
T.A.	m	17,9	3	1,77	75	23,9	76.-90.	690	721	729	713	1	≤3	105	100	80
W.A.	w	14,9	3	1,76	62,3	20,1	51.-75.	716	721	0	719	3	≤3	87	68	0

Name	m/w	Alter (a)	AG	Größe (m)	KG (kg)	BMI	BMI (Perz.)	6MGSTR1	6MGSTR2	6MGSTR3	6MGSTRMittel	Borg Mittel	Sport (h/Wo.)	W _{max} (%d.A.)	VO _{2max} (%d.A.)	VAT (%d.A.)
K.S.	m	17,1	3	1,84	83	24,5	91.-97.	777	800	0	789	4	≤3	0	0	0
P.V.	m	6,7	1	1,17	18,5	13,5	3.-10.	655	663	0	659	0	≤3	0	0	0
B.S.	w	13,1	2	1,62	50	19,1	51.-75.	731	733	789	751	2	≤3	0	0	0
R.S.	w	18,5	3	1,74	74	24,4	91.-97.	733	731	0	732	2	≤3	0	0	0
L.T.	m	16,3	3	1,72	74	25	91.-97.	800	731	0	766	1	≤3	0	0	0
H.F.	w	16,4	3	1,65	58	21,3	51.-75.	720	733	0	727	2	≤3	0	0	0
R.N.	m	18,1	3	1,78	77	24,3	91.-97.	681	846	0	764	5	≤3	0	0	0
S.S.	m	18,6	3	1,8	59	18,2	3.-10.	686	877	0	782	5	≤3	0	0	0
K.S.	m	17,3	3	1,81	71	21,7	51.-75.	759	816	0	788	2	≤3	0	0	0
N.P.	m	16,4	3	1,77	66	21,1	51.-75.	736	793	0	765	3	≤8	0	0	0
H.L.	w	12,6	2	1,55	39	16,2	11.-25.	714	789	0	752	3	≤3	0	0	0
G.A.	w	17,4	3	1,67	51	18,3	11.-25.	688	689	0	689	3	≤3	0	0	0
S.K.	w	17,6	3	1,73	56	18,7	11.-25.	712	759	0	736	4	≤3	0	0	0
F.T.	w	17,4	3	1,79	69	21,1	51.-75.	700	735	0	718	3	≤3	0	0	0
P.N.	w	17,9	3	1,68	57	20,2	26.-50	700	735	0	718	4	≤8	0	0	0
S.C.	m	14,6	3	1,71	57	19,5	51.-75.	815	816	0	816	5	≤8	0	0	0
G.U.	m	15,8	3	1,73	63	21	76.-90.	815	818	0	817	4	≤8	0	0	0
B.N.	m	15,7	3	1,8	71	21,9	76.-90.	815	827	0	821	4	≤3	0	0	0
S.C.	m	6,8	1	1,19	21	14,8	26.-50	597	599	613	603	3	≤3	0	0	0
A.L.	w	12,4	2	1,55	39	16,2	11.-25.	660	709	714	694	6	≤3	0	0	0
S.M.	m	10,7	2	1,39	27,1	14	3.-10.	770	773	0	772	3	≤8	0	0	0
W.M.	m	11,1	2	1,45	35	16,6	51.-75.	776	780	0	778	3	≤8	0	0	0
S.T.	m	8,2	2	1,42	36,9	18,3	91.-97.	645	710	0	678	5	≤8	0	0	0
W.J.	w	17,3	3	1,63	55,5	20,9	51.-75.	711	751	0	731	3	≤3	0	0	0
S.T.	w	17,7	3	1,71	55	18,8	11.-25.	711	751	0	731	3	≤8	0	0	0
H.R.	w	18,4	3	1,72	59	19,9	26.-50	715	787	0	751	1	≤3	0	0	0
D.T.	w	10,7	2	1,46	37	17,4	76.-90.	718	716	0	717	3	≤8	0	0	0
H.K.	m	12,3	2	1,43	38	18,6	76.-90.	759	850	0	805	2	≤3	0	0	0
W.C.	m	12,4	2	1,58	54,2	21,7	91.-97.	710	620	0	665	6	≤3	0	0	0
B.M.	m	12,7	2	1,78	57	18	51.-75.	792	885	0	839	4	≤3	0	0	0

Name	m/w	Alter (a)	AG	Größe (m)	KG (kg)	BMI	BMI (Perz.)	6MGSTR1	6MGSTR2	6MGSTR3	6MGSTRMittel	Borg Mittel	Sport (h/Wo.)	W _{max} (%d.A.)	VO _{2max} (%d.A.)	VAT (%d.A.)
B.C.	m	12,9	2	1,51	41	18	51.-75.	734	839	0	787	3	≤3	0	0	0
S.A.	m	12,9	2	1,48	48	21,9	91.-97.	735	720	0	728	4	≤3	0	0	0
P.S.	m	13,7	2	1,58	46	18,4	51.-75.	788	886	0	837	3	≤8	0	0	0
R.J.	m	12,3	2	1,42	35	17,4	51.-75.	725	789	0	757	3	≤8	0	0	0
S.T.	w	12,3	2	1,53	35	15	3.-10.	752	755	0	754	2	≤3	0	0	0
D.J.	w	11,6	2	1,58	47	18,8	76.-90.	745	734	0	740	8	≤3	0	0	0
G.J.	m	12,8	2	1,43	30	14,7	3.-10.	741	773	0	757	2	≤8	0	0	0
Z.P.	m	12,1	2	1,51	36	15,8	11.-25.	740	771	0	756	2	≤3	0	0	0
W.C.	w	8,5	2	1,33	27	15,3	26.-50	669	625	0	647	4	≤3	0	0	0
F.G.	w	8,5	2	1,29	22	13,2	3.-10.	648	625	0	637	7	≤3	0	0	0
F.V.	w	8,3	2	1,4	34	17,3	91.-97.	640	701	0	671	7	≤3	0	0	0
K.M.	w	13,7	2	1,57	42	17	26.-50	761	759	0	760	3	≤3	0	0	0
W.K.	w	13,6	2	1,66	59	21,4	91.-97.	799	790	0	795	2	≤8	0	0	0
E.M.	w	18	3	1,69	69	24,2	91.-97.	621	633	628	627	3	≤3	0	0	0
M.P.	m	14,6	3	1,78	53	16,7	11.-25.	799	806	810	805	4	≤8	0	0	0
W.L.	w	16,7	3	1,7	61	21,1	51.-75.	650	690	0	670	2	≤3	0	0	0
K.K.	w	14,5	3	1,7	66	22,8	91.-97.	825	891	0	858	1	≤8	0	0	0
L.F.	w	15	3	1,64	58	21,6	76.-90.	821	846	0	834	3	≤8	0	0	0
W.I.L.	w	8,9	2	1,34	33	18,4	91.-97.	789	789	0	789	4	≤8	0	0	0
M.S.	w	18,3	3	1,68	66	23,4	76.-90.	640	675	0	658	2	≤3	0	0	0
T.F.	w	17,6	3	1,56	50	20,5	51.-75.	640	674	660	658	2	≤8	0	0	0
K.C.	m	10,7	2	1,56	47	19,3	91.-97.	762	810	0	786	3	≤3	0	0	0
M.H.	m	10,9	2	1,47	33	15,3	11.-25.	722	782	0	752	4	≤3	102	88	90
M.L.	m	17,7	3	1,71	68	23,3	76.-90.	745	766	768	760	4	≤3	0	0	0
B.B.	m	12,7	2	1,62	55	21	91.-97.	688	711	0	700	3	≤3	0	0	0
R.S.	m	10,5	2	1,45	39	18,5	76.-90.	665	679	0	672	3	≤3	0	0	0
B.L.	w	11,3	2	1,58	51,6	22	91.-97.	654	661	0	658	6	≤3	0	0	0
T.O.	m	13,2	2	1,47	40	18,5	51.-75.	708	744	0	726	4	≤3	0	0	0
Z.D.	m	10,7	2	1,45	37	17,6	76.-90.	712	744	0	728	2	≤3	0	0	0
N.K.	w	12	2	1,61	56	21,6	91.-97.	743	721	0	732	5	≤3	0	0	0

Name	m/w	Alter (a)	AG	Größe (m)	KG (kg)	BMI	BMI (Perz.)	6MGSTR1	6MGSTR2	6MGSTR3	6MGSTRMittel	Borg Mittel	Sport (h/Wo.)	W _{max} (%d.A.)	V _{O₂max} (%d.A.)	VAT (%d.A.)
P.C.	m	12,3	2	1,68	60,6	21,5	91.-97.	638	642	0	640	6	≤8	0	0	0
R.N.	m	10	2	1,49	37	16,7	51.-75.	698	684	0	691	3	≤3	0	0	0
D.S.	m	13	2	1,69	57	20	76.-90.	720	743	0	732	2	≤3	0	0	0
B.N.	m	12	2	1,54	44	18,6	76.-90.	617	655	682	651	5	≤3	87	72	95
T.A.	m	12	2	1,45	31	14,7	3.-10.	658	712	709	693	2	≤3	73	75	0
R.M.	w	18,2	3	1,69	54	18,9	11.-25.	692	768	0	730	2	≤3	0	0	0
P.A.	w	17	3	1,72	72	24,3	91.-97.	699	680	0	690	5	≤3	0	0	0
B.N.	w	18,4	3	1,67	63	22,6	76.-90.	726	744	0	735	3	≤3	0	0	0
F.C.-M.	w	17,7	3	1,68	64	22,7	76.-90.	693	770	0	732	3	≤3	0	0	0
H.M.	w	17,5	3	1,66	55	20	51.-75.	735	721	0	728	5	≤3	0	0	0
N.A.	w	13,9	2	1,62	49	18,7	26.-50	714	820	0	767	3	≤3	0	0	0
D.G.	w	12	2	1,44	33	15,9	11.-25.	711	805	0	758	4	≤3	0	0	0
S.M.	w	17,7	3	1,72	69	23,3	76.-90.	719	783	0	751	2	≤3	0	0	0
K.C.	m	6	1	1,23	26,3	17,4	91.-97.	605	619	0	612	4	≤3	0	0	0
R.S.	m	7,2	1	1,18	22	15,8	51.-75.	619	640	0	630	5	≤8	0	0	0
D.R.	m	10,1	2	1,33	27	15,3	26.-50	740	746	0	743	1	≤3	0	0	0
R.S.	w	7,2	1	1,2	22	15,3	51.-75.	563	644	0	604	2	≤8	0	0	0
Z.B.	m	6,8	1	1,25	23	14,7	26.-50	585	589	0	587	2	≤3	0	0	0
Z.J.	w	10,6	2	1,47	36	16,7	51.-75.	664	720	0	692	2	≤8	0	0	0
S.M.	m	14,4	3	1,69	45	15,8	3.-10.	660	720	0	690	2	≤8	0	0	0
K.N.-M.	w	6,2	1	1,19	19	13,4	3.-10.	609	630	0	620	4	≤3	0	0	0
K.K.	w	6,6	1	1,24	22	14,3	26.-50	611	626	0	619	1	≤3	0	0	0
T.J.	m	17,1	3	1,81	82	25	91.-97.	710	710	0	710	6	≤3	0	0	0
B.T.	m	15,3	3	1,68	56	19,8	51.-75.	757	770	765	764	3	≤8	84	88	139
K.T.	m	10,8	2	1,47	36	16,7	51.-75.	699	720	722	714	6	≤3	0	0	0
Z.L.	w	9,3	2	1,34	33,2	18,5	91.-97.	691	736	0	714	5	≤8	0	0	0
L.S.	m	16,9	3	1,8	59	18,2	11.-25.	669	765	772	735	3	≤8	104	91	0
F.J.	w	10,3	2	1,34	28	15,6	26.-50	715	733	751	733	3	≤8	0	0	0
C.R.	m	10,9	2	1,44	36	17,4	51.-75.	689	699	729	706	4	≤8	90	73	0
S.R.	w	14,9	3	1,58	54	21,6	76.-90.	666	691	0	679	6	≤3	92	92	95

Name	m/w	Alter (a)	AG	Größe (m)	KG (kg)	BMI	BMI (Perz.)	6MGSTR1	6MGSTR2	6MGSTR3	6MGSTRMittel	Borg Mittel	Sport (h/Wo.)	W _{max} (%d.A.)	V _{O₂max} (%d.A.)	VAT (%d.A.)
B.H.	m	6,6	1	1,28	23	14	11.-25.	671	676	0	674	4	≤3	0	0	0
V.T.	m	6,6	1	1,22	20,4	13,7	3.-10.	655	689	0	672	1	≤3	0	0	0
F.H.	w	6,6	1	1,2	23	16	76.-90.	629	591	0	610	4	≤3	0	0	0
F.E.	m	8,4	2	1,23	25	16,5	51.-75.	624	600	0	612	3	≤3	0	0	0
F.H.	m	9,1	2	1,36	29	15,7	26.-50	630	654	0	642	2	≤3	0	0	0
L.V.	w	14,1	3	1,61	56	21,6	76.-90.	704	728	0	716	7	≤3	0	0	0
D.M.	w	6,6	1	1,26	25	15,7	51.-75.	610	627	658	632	3	≤3	0	0	0
D.T.	w	8,4	2	1,34	31	17,3	91.-97.	644	659	672	658	2	≤3	0	0	0
G.L.	w	7,6	1	1,22	19,7	13,2	3.-10.	615	629	0	622	5	≤3	0	0	0
K.A.	w	6,7	1	1,23	23	15,2	51.-75.	640	633	0	637	1	≤3	0	0	0
W.T.	w	6	1	1,19	21	14,8	26.-50	638	625	0	632	7	0	0	0	0
W.K.	w	7,9	1	1,3	29	17,2	91.-97.	699	688	0	694	1	≤3	0	0	0
K.N.	w	17,5	3	1,73	53	17,7	3.-10.	718	752	0	735	5	≤3	103	88	75
S.D.	m	9,3	2	1,41	35	17,6	76.-90.	615	666	689	657	2	≤3	70	66	0
H.H.	m	6,7	1	1,21	19,9	13,6	3.-10.	616	619	0	618	1	≤8	0	0	0
M.C.	w	6,7	1	1,22	21	14,1	11.-25.	621	629	0	625	5	0	0	0	0
H.L.	w	6,3	1	1,24	23	15	51.-75.	622	621	630	624	1	0	0	0	0
H.S.	w	8,8	2	1,33	33	18,7	91.-97.	690	692	700	694	3	≤3	0	0	0
B.A.	w	8,5	2	1,4	29	14,8	26.-50	729	733	0	731	6	≤3	0	0	0
B.N.	w	6,4	1	1,26	25	15,7	51.-75.	638	640	0	639	4	≤3	0	0	0
H.S.	m	17,3	3	1,74	70	23,1	76.-90.	769	777	0	773	2	≤8	0	0	0
K.M.	m	10,6	2	1,5	36	16	26.-50	715	723	0	719	0	≤3	0	0	0
R.O.	m	13,6	2	1,79	57	17,8	26.-50	710	740	0	725	3	≤8	92	93	0
M.N.	w	16	3	1,59	53,6	21,2	51.-75.	640	642	695	659	3	≤3	89	78	74
K.P.G.	m	6,4	1	1,19	22	15,5	51.-75.	588	635	0	612	0	≤3	0	0	0
K.P.	m	8,5	2	1,29	25	15	26.-50	664	751	0	708	3	≤3	0	0	0
B.K.	m	5,6	1	1,24	22	14,3	11.-25.	600	605	0	603	0	0	0	0	0
S.M.	w	6,1	1	1,19	23	16,2	76.-90.	565	610	0	588	0	≤8	0	0	0
B.M.	m	10,8	2	1,47	31	14,3	3.-10.	835	905	0	870	4	≤8	0	0	0
D.L.	w	8,5	2	1,32	27	15,5	26.-50	765	827	0	796	4	≤8	0	0	0

Name	m/w	Alter (a)	AG	Größe (m)	KG (kg)	BMI	BMI (Perz.)	6MGSTR1	6MGSTR2	6MGSTR3	6MGSTRMittel	Borg Mittel	Sport (h/Wo.)	W _{max} (%d.A.)	VO _{2max} (%d.A.)	VAT (%d.A.)
H.F.	m	7,1	1	1,36	33	17	51.-75.	629	610	0	620	5	≤8	0	0	0
B.F.	w	8,3	2	1,46	30	14,1	11.-25.	843	815	0	829	5	≤3	0	0	0
B.F.	m	6,7	1	1,24	22	14,3	11.-25.	639	605	0	622	5	≤8	0	0	0
H.B.	m	8,7	2	1,38	30	15,8	51.-75.	720	654	0	687	4	≤3	0	0	0
S.A.	m	17,8	3	1,86	86,5	25	91.-97.	731	744	741	739	2	≤8	83	71	0
S.J.	w	11	2	1,48	37	16,9	51.-75.	850	779	0	815	7	≤3	113	111	0
S.E.-T.	m	10,8	2	1,33	29	16,4	26.-50	685	689	0	687	4	≤3	83	80	0
R.C.-O.	m	8,4	2	1,33	27	15,3	26.-50	640	674	0	657	3	≤3	0	0	0
R.F.	m	10,5	2	1,47	32	14,8	11.-25.	788	834	0	811	1	≤3	0	0	0
M.D.	m	9,6	2	1,36	33	17,8	76.-90.	726	762	0	744	1	≤8	0	0	0
K.R.	w	6	1	1,17	19	13,9	11.-25.	560	575	0	568	0	≤3	0	0	0
N.L.	w	5,5	1	1,07	17	14,8	26.-50.	600	624	0	612	5	≤3	0	0	0
B.M.	m	16	3	1,76	75	24,2	91.-97.	758	756	0	757	3	≤3	86	78	0
S.C.	w	16,7	3	1,78	66	20,8	51.-75.	638	640	0	639	5	≤3	0	0	0
M.J.	w	9	2	1,41	37	18,6	91.-97.	702	762	0	732	3	≤8	0	0	0
B.P.	m	13,5	2	1,7	58	20,1	76.-90.	684	691	0	688	2	≤3	96	71	67
K.O.	m	17,7	3	1,83	84,6	25,3	91.-97.	742	828	0	785	4	≤8	100	83	195
I.C.	w	14,9	3	1,68	61	21,6	76.-90.	670	690	0	680	3	≤8	110	84	85
D.A.	w	6,2	1	1,17	20	14,6	26.-50	622	631	0	627	5	≤3	0	0	0
D.M.	w	7,5	1	1,2	21	14,6	26.-50	634	650	0	642	5	≤3	0	0	0
G.L.	w	7,3	1	1,28	25	15,3	51.-75.	620	639	0	630	1	≤3	0	0	0
S.L.	w	6	1	1,08	17	14,6	26.-50	589	608	0	599	4	≤3	0	0	0
H.S.	w	5,6	1	1,09	17	14,3	26.-50.	621	644	0	633	1	≤3	0	0	0
K.M.	w	6,6	1	1,26	26	16,4	76.-90.	619	623	0	621	3	≤3	0	0	0
A.M.	w	6,3	1	1,2	23	16	76.-90.	601	651	0	626	5	≤3	0	0	0
K.E.	m	17,1	3	1,72	69	23,3	76.-90.	755	777	0	766	5	≤3	0	0	0
B.T.	m	17,6	3	1,75	64	20,9	51.-75.	780	797	0	789	3	≤3	0	0	0
S.J.	m	17,7	3	1,7	57	19,7	26.-50.	748	752	0	750	3	≤8	0	0	0
L.L.	m	6,1	1	1,23	24	15,9	51.-75.	618	629	0	624	5	≤3	0	0	0