

Aus der Klinik für Kinderkardiologie und Pneumologie

Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. Klaus G. Schmidt

Spiroergometrische Untersuchungen bei Kindern mit komplettem AV-Block

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine Universität
Düsseldorf

vorgelegt von

Tim Lohoff

2004

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Wolfgang H.-M. Raab
Dekan

Referent: Priv.-Doz. Dr. Heusch

Korreferent: Prov. Doz. Dr. Korbmacher

meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Der komplette AV-Block	1
1.2 Spiroergometrie	2
1.3 Verhalten der Atem- und Kreislaufparameter unter körperlicher Belastung	2
1.4 Fragestellung und Zielsetzung	4
2. Patienten und Methoden	5
2.1 Patientengruppe	5
2.2 Vergleichsgruppe	7
2.3 Spiroergometrie	8
2.4 Messwerte	10
2.4.1 EKG	10
2.4.2 Sauerstoffsättigung	10
2.4.3 Blutdruck	10
2.4.4 Ventilatorische Parameter	10
2.5 Abbruchskriterien	11
2.6 Statistische Methoden	11
3. Ergebnisse	12
3.1 Echokardiografie	12
3.2 Spiroergometrie	12
3.3 Vergleich	26
3.4 Vergleich von Einflussgrößen innerhalb der Patientengruppe	37
3.4.1 Herzschrittmacher	37
3.4.2 Herzoperation, bestehendes Vitium und chronische Myokarditis.....	38
3.5 Analyse der Vergleichsgruppe	40
3.6 Abbruch der Untersuchung	45
3.6.1 Patienten	45
3.6.2 Vergleichsgruppe	45
4. Diskussion	47
4.1 Diskussion und Literaturvergleich der Untersuchungsergebnisse.....	47
4.2 Diskussion von Einflussgrößen innerhalb der Patientengruppe.....	53
4.2.1 Herzschrittmacher	53
4.2.2 bestehendes Vitium, Herz-OP, chronische Myokarditis	54

5. Schlussfolgerungen.....	55
6. Zusammenfassung	56
7. Anhang A.....	57
8. Literatur	59
9. Danksagung	63
10. Lebenslauf	65
11. Abstract	67

1 Einleitung

1.1 Der komplette AV-Block

Als kompletten AV-Block oder AV-Block 3° (CAVB) bezeichnet man eine vollständig unterbrochene Erregungsübertragung im Bereich des Aschoff–Tawara-Knotens, so dass sekundäre oder tertiäre Reizleitungszentren die Schrittmacherfunktion übernehmen. Es liegt in Ruhe meist eine Herzfrequenz von 40-50 Schlägen pro Minute vor. Die Vorhöfe schlagen dabei vollkommen unabhängig von den Ventrikeln mit einer höheren Frequenz.

Es gibt verschiedene Ursachen des kongenitalen CAVBs: Erstmals wurde der kongenitale CAVB von Morquio 1901 beschrieben¹. Seine Inzidenz beträgt 1:20000 Lebendgeburten². Ursächlich sind vor allem 2 Faktoren von Bedeutung: Zum einen wurde ein gehäuftes Vorkommen eines kongenitalen CAVBs bei Kindern von Müttern beobachtet, die an einem systemischen Lupus erythematoses (SLE)³ oder an einem Sjögren Syndrom (SS)⁴ erkrankt sind. Der entscheidende Risikofaktor ist das Vorhandensein von anti-Ro bzw. anti-La Antikörpern im mütterlichen Serum während der Schwangerschaft unabhängig von der klinischen Manifestation. Der zweite Ansatz erklärt den kongenitalen CAVB durch eine fehlerhafte Kardiogenese. Lev geht davon aus, dass der kongenitale CAVB das Resultat entweder einer fehlenden Verbindung zwischen Vorhofmuskulatur und peripher gelegenen Reizleitungssystem, einer Unterbrechung des HIS'schen Bündels oder von pathologischen Veränderungen in einem aberranten Reizleitungssystem ist⁵. Als morphologisches Korrelat fand Lev, daß der normal angelegte AV-Knoten sich in atypischer Lage zum Herzskelett befand oder aber hypo- bzw. aplastisch war⁶.

Der erworbene CAVB wird ebenfalls nach seiner Ursache unterschieden: Weindling et al. stellten fest, daß bei 2% der herzoperierten Kinder postoperativ ein CAVB auftrat. Ursächlich ist hier eine direkte intraoperative Schädigung des AV-Knotens anzusehen. Eine besondere Häufung fand sich bei Patienten mit einer Obstruktion der linksventrikulären Ausflussbahn (17%), einer L-Transposition der grossen Arterien (11%), einem Ventrikelseptumdefekt (4%), sowie einer FALLOT - Tetralogie (3%)⁷. Desweiteren tritt diese Form des CAVBs gehäuft bei Myokarditiden, z.B. infolge einer Lyme-Borreliose oder eines rheumatischen Fiebers auf^{8,9,10}. Die Klinik des CAVB's reicht von kompletter Asymptomatik über vorzeitige Erschöpfung bis hin zu Synkopen. In einigen Fällen wurde ein tödlicher Ausgang beschrieben^{6,11}.

Das Ausmaß der Belastungsintoleranz hängt unmittelbar von der Ventrikelfrequenz ab¹². Ein weiterer klinisch relevanter Aspekt ist, dass der CAVB gehäuft mit ventrikulären Ektopien einhergeht. Man fand heraus, dass die Inzidenz ventrikulärer Ektopien beim CAVB sowohl mit einer niedrigen Ventrikelfrequenz in Ruhe als auch mit einem ansteigenden Lebensalter assoziiert ist^{13,14}.

Der kongenitale CAVB kann bereits pränatal mit Hilfe der Echokardiografie diagnostiziert werden. Postnatal wird ein CAVB durch ein einfaches EKG bewiesen. Um eventuell gehäuft

auftretende ventrikuläre Ektopien zu erfassen, sollte zusätzlich ein Holter-EKG durchgeführt werden.

Die Therapie des CAVBs besteht bei Kindern mit Bradykardie und klinischer Symptomatik in der Implantation eines internen Herzschrittmachers¹⁵.

1.2 Spiroergometrie

Eine Möglichkeit die körperliche Leistungsfähigkeit bei Kindern zu quantifizieren bietet die Spiroergometrie: Sie wurde 1929 in Deutschland erstmals angewandt¹⁶ und erlebte mit der Entwicklung von computergesteuerten Analysesystemen in den 60er Jahren eine „Renaissance“¹⁷. Neben den bereits bekannten EKG - Parametern ist es nun möglich die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) und Kohlendioxidproduktion (VCO_2) sowie den Strom der Atemluft für jeden einzelnen Atemzug zu erfassen. Hieraus kann nun die anaerobe Schwelle (AT) nicht invasiv bestimmt werden. Als non-invasives Verfahren ist die Laufband - Spiroergometrie optimal für die Anwendung bei Kindern ab dem Kleinkindesalter geeignet¹⁸.

1.3 Verhalten der Atem- und Kreislaufparameter unter körperlicher Belastung

Um die einzelnen gemessenen Parameter in ihrer Bedeutung richtig einzuschätzen und die Interaktion einzelner Parameter einordnen zu können, müssen wesentliche physiologische Abläufe bei körperlicher Arbeit berücksichtigt werden. Daher wird im Folgenden ein kurzer Überblick über die Leistungsphysiologie gegeben.

In Ruhe entsprechen pulmonale O_2 -Aufnahme (VO_2) und CO_2 -Abgabe (VCO_2) dem O_2 -Bedarf bzw. der CO_2 -Produktion im Gewebe (Ruhephase, Phase 0). Bei Einsetzen einer konstanten körperlichen Belastung steigen die Sauerstoff- und Kohlendioxidventilation infolge eines gesteigerten Herzminutenvolumens ($HMV = \text{Herzfrequenz} \times \text{Schlagvolumen}$) abrupt an (kardiodynamische Phase des Gasaustausches, Phase I, Abbildung 1.3.1). Beide Parameter erreichen zunächst ein konstantes Niveau. Gleichzeitig steigen der Sauerstoffbedarf und die CO_2 -Produktion in der Peripherie. Aufgrund der Zeitverzögerung, die sich durch den Buttransport der Atemgase von den peripheren Geweben zur Lunge ergibt, ist eine weitere Erhöhung von VO_2 und VCO_2 erst nach einem Intervall von ca. 15 Sekunden spirometrisch zu registrieren (Zellatmungsphase, Phase II, Abbildung 1.3.1). Da Kohlendioxid im Blut und in den Geweben besser löslich ist als Sauerstoff, steigt die CO_2 -Ventilation im Vergleich zur O_2 -Ventilation langsamer an. Der respiratorische Quotient ($RQ = VCO_2 / VO_2$) fällt anfangs also leicht ab. Nach ca. 3 Minuten ist die pulmonale Sauerstoffaufnahme an den peripheren Sauerstoffbedarf angeglichen. Die Kohlendioxidabgabe über die Lunge entspricht nach ca. 4 Minuten der Kohlendioxidproduktion im Gewebe. Der Körper befindet sich jetzt in einem Gleichgewicht

(steady state, Phase III, Abbildung 1.3.1). Wird die Belastung nun beendet, so gehen CO_2 -Produktion und O_2 -Verbrauch wieder auf Normalwerte zurück. Aufgrund der besseren CO_2 -Löslichkeit im Gewebe kehrt die pulmonale Sauerstoffaufnahme im Gegensatz zur CO_2 -Abgabe schneller auf Ausgangsniveau zurück. Der respiratorische Quotient steigt folglich vorübergehend weiter an (s. Abbildung 1.3.1)^{19,20}.

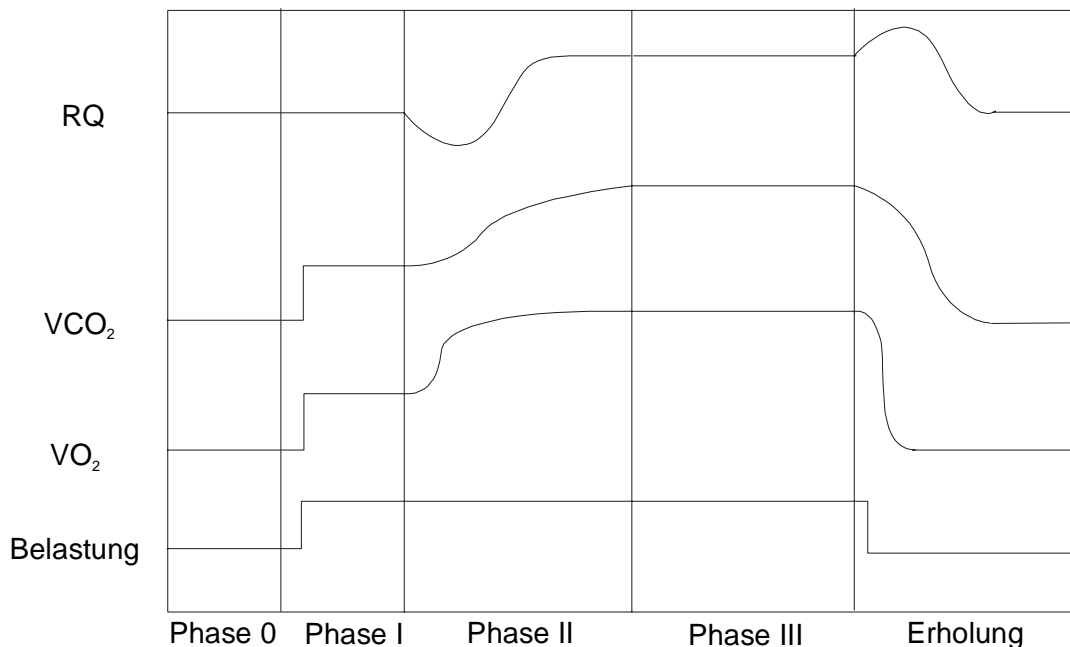


Abbildung 1.3.1: Verhalten der ventilatorischen Parameter unter körperlicher Belastung (modifiziert n. Wasserman^{19, 20})

Bei weiterhin steigender Belastung tritt unter anaeroben Bedingungen anstelle des „Steady State“ eine lineare Steigerung der Sauerstoff- und Kohlendioxidventilation als Ausdruck eines ständig steigenden Sauerstoffbedarfs bzw. einer ständig steigenden CO_2 -Produktion auf²¹. Ab einem individuell unterschiedlichen Zeitpunkt kann die Sauerstoffversorgung über die Lunge und den Kreislauf den peripheren Sauerstoffbedarf nicht mehr ausgleichen. Die Körperzelle muss also zusätzlich zur aeroben Energiegewinnung auf anaerobe Weise Energie bereitstellen. Bei diesem Prozess fällt als Stoffwechselprodukt Laktat an, so dass der Blutlaktatspiegel steigt. Diese drohende Laktatazidose wird durch den Bikarbonatpuffer im Blut abgefangen, der pH-Wert bleibt zunächst noch konstant. Da bei der Laktatpufferung als Säureäquivalent CO_2 anfällt, steigt nun die pulmonale CO_2 -Abgabe und damit auch das Atemminutenvolumen (AMV) im Verhältnis zur O_2 -Aufnahme schneller an^{22,23,24}. Dieser Punkt, an dem die Anstiegssteilheit von VCO_2 gegenüber der von VO_2 grösser wird, ist als anaerobe Schwelle (AT) definiert^{23,24}.

Wird die körperliche Belastung über die anaerobe Schwelle hinaus gesteigert, so kann der arterielle pH-Wert bei steigendem Laktatspiegel bis zu einem Punkt, an dem ca. 80% der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{max}}$) erreicht sind, noch konstant gehalten werden. Eine weitere Belastungserhöhung ist nur für ganz kurze Zeit möglich. In dieser Phase wird die

Ventilation noch weiter gesteigert, die Laktatazidose kann jedoch nicht mehr kompensiert werden und der pH-Wert im Blut sinkt. Schliesslich wird die maximale Sauerstoffaufnahme bei einem arteriellen pH-Wert von ca. 7,25 erreicht und der Körper ist nicht mehr in der Lage eine weitere Belastung zu tolerieren^{23,25,26}.

1.4 Fragestellung und Zielsetzung

Kinder mit CAVB können ihre Herzfrequenz unter Belastung nicht in dem Maße steigern, wie gesunde Kinder. Bei Kindern ist die Steigerung der Herzfrequenz aber die Hauptadaptationsgröße zur Erhöhung des HZV, welches das Produkt aus Herzfrequenz (HF) und Schlagvolumen (SV) ist ($HMV = HF \times SV$). Es stellt sich also die Frage, ob die chronotrope Inkompetenz durch ein gesteigertes Schlagvolumen (SV) oder vielleicht durch eine größere periphere Sauerstoffextraktion kompensiert werden kann. Zur Beantwortung wurde die körperliche Leistungsfähigkeit von Kindern mit CAVB anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme und der anaeroben Schwelle unter maximaler Belastung gemessen und mit gesunden Kindern verglichen.

2 Patienten und Methoden

2.1 Patientengruppe

Untersucht wurden insgesamt 18 Patienten im Alter von 5 - 17 Jahren mit CAVB. Die Probanden wurden nach Alter, Geschlecht, Ursache des CAVBs sowie Vorhandensein eines Schrittmachers (SM) unterteilt. Die Patientengruppe bestand aus 10 männlichen (m) und 8 weiblichen (w) Personen. Bezüglich des Alters wurden die Kinder in 4 verschiedene Gruppen eingeteilt: Gruppe 1 umfasst das Alter von 5 bis einschließlich 7 Jahren, Gruppe 2 von 8 bis 10 Jahren, Gruppe 3 von 11 bis 14 Jahren und Gruppe 4 von 15 bis 17 Jahren.

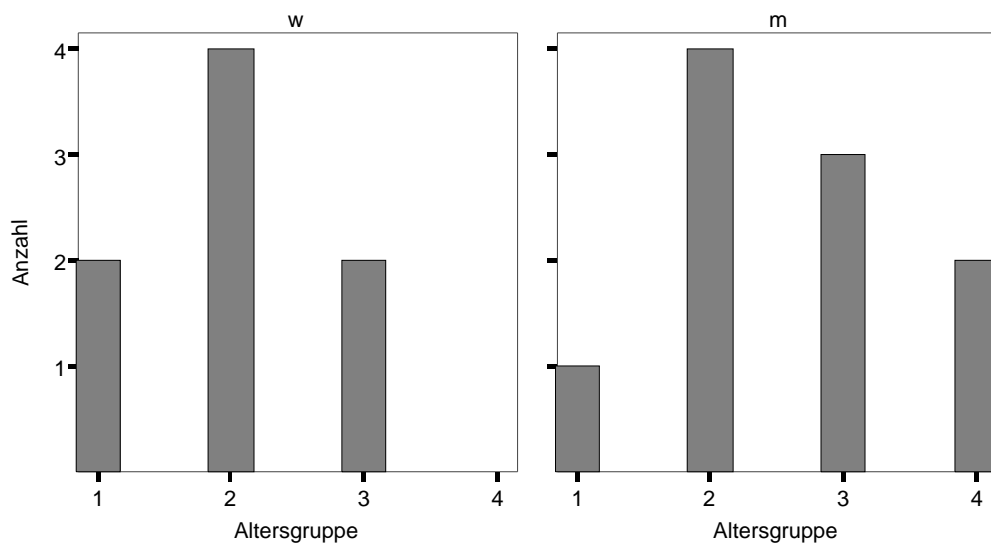


Abbildung 2.1.1: Patientengruppe

Die Mädchen der Gruppe 1 waren im Schnitt $6 (\pm 1)$ Jahre alt, der mittlere body mass Index (BMI) betrug $13,65 (\pm 2,20)$, der einzige Junge war 6 Jahre alt, der BMI lag bei 17,53. Der weibliche Anteil von Gruppe 2 war durchschnittlich $9 (\pm 1)$ Jahre alt, der mittlere BMI betrug $17,50 (\pm 1,90)$. Der männliche Anteil dieser Gruppe war durchschnittlich $9 (\pm 1)$ Jahre alt, der BMI lag im Mittel bei $16,88 (\pm 3,78)$. Das Alter der Mädchen der Gruppe 3 betrug im Schnitt $13 (\pm 1)$ Jahre, der mittlere BMI lag bei $20,83 (\pm 3,27)$. Die Jungen dieser Gruppe waren durchschnittlich $12 (\pm 1)$ Jahre alt und hatten einen mittleren BMI von $19,67 (\pm 5)$. Das mittlere Alter der Jungen der Gruppe 4 betrug $16 (\pm 1)$ Jahre, der durchschnittliche BMI lag bei $17,65 (\pm 2,76)$. In dieser Gruppe waren keine weiblichen Probanden vorhanden.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren 10 der 18 Patienten mit einem Schrittmacher versorgt. 4 Patienten trugen einen VVIR-Schrittmacher, 2 einen VVI-Schrittmacher, 3 einen DDD- und einer einen DDDR-Schrittmacher.

Bei 9 Patienten lag ein kongenitaler CAVB vor. Hiervon hatten 3 Patienten ein Vitium cordis. Bei 2 Kindern dieser Gruppe wurde ein mütterlicher SLE nachgewiesen. 5 Kinder hatten einen erworbenen CAVB, 3 nach Myokarditis und 2 postoperativ. Bei 4 Kindern war die Ursache unklar.

Bei allen Patienten wurde kurz vor der Spiroergometrie eine kardiologische Untersuchung inklusive Echokardiografie mit Bestimmung der linksventrikulären Größe und Funktion, und ein 12-Kanal EKG durchgeführt. Die echokardiografische Voruntersuchung ergab, dass 7 der 18 untersuchten Patienten eine Vergrößerung des linken Ventrikels zeigten. Die linksventrikuläre Funktion wurde jedoch bei allen Probanden als uneingeschränkt beurteilt.

Pa-tient	Ge-schlecht	Al-ter	Schritt-macher-typ	Ursache des CAVB	Vitium	OP	aktueller kardialer Befund (Echoakardiografie)
S.L.	m	9	DDDR	postoperativ	hochgradige subvalvuläre AOS, subaortaler kl. VSD, partielle Lungenvenenfehl-mündung	Resektion der AOS, VSD-Verschluss, Rekonstruktion von Mitral- und Aortenklappe	deutliche MI und AOI, leichte Rest-AOS, kleiner Rest-VSD, LV und LA vergrößert
T.J.	m	12	VVIR	postoperativ	VSD, subvalvuläre AOS	VSD-Verschluss, Resektion der AOS	kein Rest-Defekt, laminarer Fluß im LVOT
C.S.	w	9	VVIR	Myokarditis	-	-	-
H.D.	w	5	-	Myokarditis	-	-	leichte MI, LV vergrößert
J.A.	m	12	-	kongenital, mütterl. SLE	leichte valvuläre PS	-	leichte valvuläre PS
S.E.	w	12	-	kongenital, mütterl. SLE	-	-	leichte AOI, leichte MI
E.K.	w	6	VVI	kongenital	LTGA, 2 VSD's, subvalvuläre PS	VSD-Verschluss, Resektion der subvalvulären PS	kleiner apikaler VSD, leichte subvalv. Rest-PS, leichte MI
K.P.	m	9	-	kongenital	schwere valvuläre PS	Ballondilat. der PS	leichte Rest-PS
A.R.	m	8	DDD	kongenital	ASD vom Secundum-Typ	ASD-Verschluss	kein Rest-Defekt, RV vergrößert
C.K.	w	9	-	kongenital	sog. physiologisch korrigierte L-TGA mit Ventrikelinversion	-	leichte TI
C.B.	w	8	VVI	kongenital	-	-	-
T.H.	m	17	VVIR	kongenital	-	-	minimale AOI
T.R.	m	15	VVIR	kongenital	-	-	LV vergrößert
A.A.	m	6	DDD	unbekannt	-	-	-
S.S.	w	13	DDDR	unbekannt	-	-	-
T.K.	m	13	-	unbekannt	-	-	leichte MI, LV vergrößert
E.D.	w	10	DDD	unbekannt	-	-	-
D.R.	m	9	-	unbekannt	-	-	-

Tabelle 2.1.1: Patientenkollektiv (PS = Pulmonalstenose, PI = Pulmonalinsuffizienz, AOS = Aortenstenose, AOI = Aorteninsuffizienz, MI = Mitralinsuffizienz, TI = Trikuspidalinsuffizienz, VSD = Ventrikelseptumdefekt, L-TGA = sogenannte korrigierte Transposition der großen Arterien, LA = linker Vorhof, LV = linker Ventrikel, RV = rechter Ventrikel, LVOT = linksventrikulärer Ausflußtrakt)

2.2 Vergleichsgruppe

Die Vergleichsgruppe bestand aus 42 gesunden Kindern (21 Jungen und 21 Mädchen)

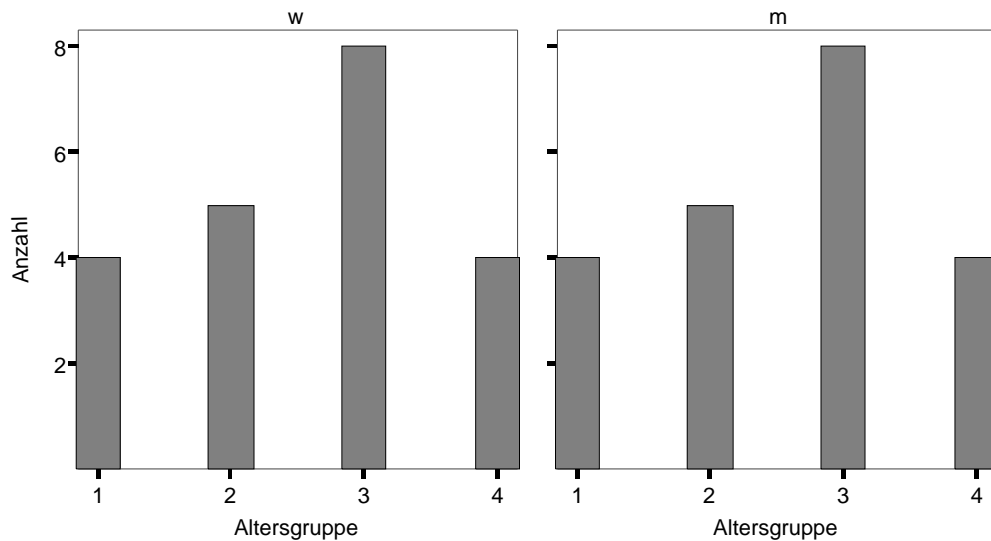


Abbildung 2.2.1: Vergleichsgruppe

Die Mädchen der Gruppe 1 waren im Schnitt $6 (\pm 1)$ Jahre alt, der mittlere BMI betrug $15,31 (\pm 2,54)$. Bei den Jungen dieser Gruppe betrug das durchschnittliche Alter $7 (\pm 1)$ Jahre; der BMI lag im Mittel bei $17,18 (\pm 1,40)$. Gruppe 2 weiblich war durchschnittlich $9 (\pm 1)$ Jahre alt, der mittlere BMI betrug $17,41 (\pm 2,48)$. Der männliche Anteil dieser Gruppe war durchschnittlich $9 (\pm 0)$ Jahre alt, der BMI lag im Mittel bei $16,46 (\pm 2,35)$. Das Alter der Mädchen der Gruppe 3 betrug im Schnitt $13 (\pm 1)$ Jahre, der mittlere BMI lag bei $20,62 (\pm 3,42)$. Die Jungen dieser Gruppe waren durchschnittlich $12 (\pm 1)$ Jahre alt und hatten einen mittleren BMI von $18,44 (\pm 2,85)$. In Gruppe 4 waren die Mädchen im Schnitt $15 (\pm 1)$ Jahre alt, der BMI lag im Mittel bei $18,43 (\pm 1,54)$. Das mittlere Alter der Jungen betrug $16 (\pm 1)$ Jahre, der durchschnittliche BMI lag bei $18,47 (\pm 1,37)$.

Vor der Untersuchung beantwortete jeder Proband einen Fragebogen, der die folgenden Punkte erfasste:

1. Schwerwiegende Infektionskrankheiten in den 4 Wochen vor der Untersuchung
2. Alle bisherigen Operationen
3. Erkrankungen des Herzens
4. Erkrankungen des Respirationstraktes

5. Allergien
6. Sonstige vorliegenden Erkrankungen, auch Erbkrankheiten
7. Subjektive Leistungseinschränkungen
8. Nikotingenuss

2.3 Spiroergometrie:

Die Kinder wurden auf einem Laufband der Firma Hellige-Marquette (Modell: 2000) belastet, welches eine Variation von Steigung und Geschwindigkeit erlaubt. Zusätzlich war eine erniedrigte Haltestange für Kinder im Alter von 5 bis 8 Jahren angebracht. Die spirometrische Messung wurde mit dem Sensorsystem V229max der Firma Sormedics durchgeführt. Es wurden ferner Silikon-Gesichtsmasken der Größen „pediatric large“, „adult small“ und „adult medium“ von der Firma Heinz Rudolph verwendet. Die Geräte wurden von den Programmen „Cardisoft (Fa. Hellige-Marquette) und „Vmax“ (Fa. Sormedics) gesteuert.



Abbildung 2.3.1: Laufband der Fa. Hellige-Marquette (Modell 2000) und Spirometrieinheit der Fa. Sormedics (V229max)

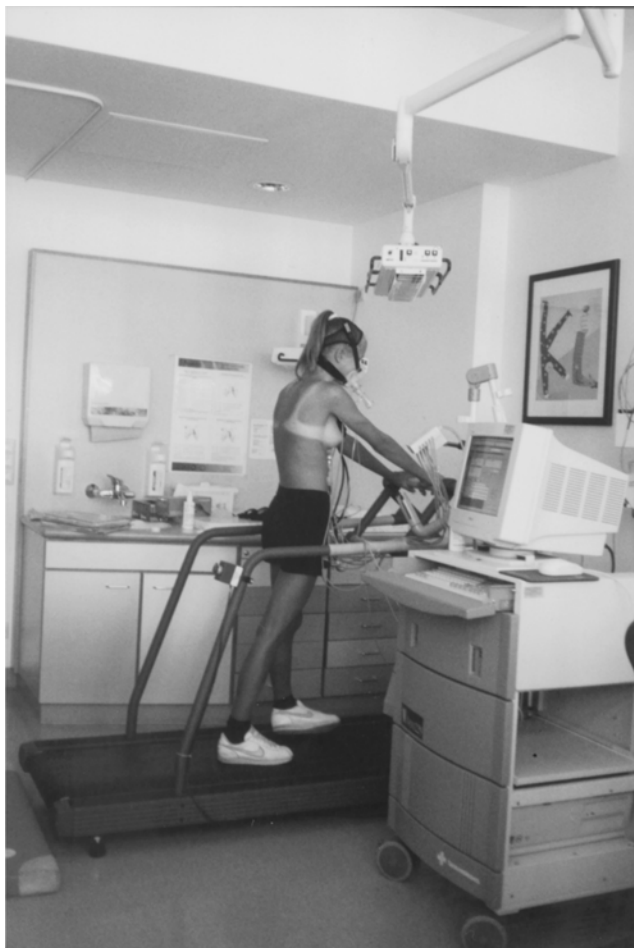


Abbildung 2.3.2: Proband während der Untersuchung

Die gesamte Untersuchung wurde unter ärztlicher Aufsicht durchgeführt. Es wurde ein modifiziertes Bruce-Protokoll verwendet (s. Tabelle 2.3.1). Nach einem einminütigen Steh-EKG und einer anschließenden einminütigen Aufwärmphase folgte das Belastungsintervall. Es fand abwechselnd eine kontinuierliche Steigerung von Geschwindigkeit und Steigung statt. Nach der Belastungsphase wurde eine einminütige Abwärmphase mit nachfolgendem dreiminütigen Steh-EKG durchgeführt. Die Probanden hielten sich während der gesamten Untersuchung an der vor ihnen befindlichen Haltestange ohne größeren Kraftaufwand fest.

Stufe	Zeit (min)	Geschwindigkeit (km/h)	Steigung (%)
Steh-EKG	1	0	0
Aufwärmen	1	1,4	0
1	2	4	5
2	2	5	5
3	2	5	10
4	2	6	10
5	2	6	15
6	2	7	15
7	2	7	20
8	2	8	20
9	2	8	25
10	2	9	25
Abwärmen	1	0,2	0
Steh-EKG	3	0	0

Tabelle 2.3.1: modifiziertes Bruce-Protokoll

2.4 Messwerte

2.4.1 EKG

Ein 12-Kanal EKG mit Extremitäten- und Brustwandableitungen wurde kontinuierlich abgeleitet und das Vorliegen eines Eigen- bzw. Schrittmacherrhythmus registriert.

2.4.2 Sauerstoffsättigung

Mittels einer Transoxode am rechten Zeige- oder Mittelfinger wurde die Sauerstoffsättigung (SO₂ in %) erfasst.

2.4.3 Blutdruck

Der Blutdruck wurde in regelmäßigen Abständen nach der Methode von Riva-Rocci gemessen.

2.4.4 Ventilatorische Parameter

Während der Untersuchung wurden die Atemfrequenz, die Sauerstoffaufnahme (VO₂) sowie die Kohlendioxidabgabe (VCO₂) nach dem „breath by breath – Verfahren“ gemessen und alle 10 s gemittelt (Fa. Sensormedics – V229max). Auf Grund dieser Werte wurde die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) berechnet. Die anaerobe Schwelle (AT) wurde primär automatisiert nach der V-Slope Methode festgelegt:

In einem Diagramm wurde VCO₂ (y-Achse) gegen VO₂ (x-Achse) aufgetragen. Im aeroben Belastungsbereich steigt die Kurve VO₂/VCO₂ zunächst linear an. Am Beginn des anaeroben Belastungsbereichs nimmt die Steigung der Kurve auf Grund der eingangs erwähnten,

vermehrten VCO_2 bei konstanter VO_2 zu. Dieser Punkt ist definitionsgemäss als anaerobe Schwelle bezeichnet.²⁷

War die anaerobe Schwelle im V-Slope-Diagramm nicht bestimmbar, so wurde die $PetO_2$ -Methode angewandt:

Dabei wurden in einem Diagramm die endtidalen Partialdrücke von Sauerstoff ($PetO_2$) und Kohlendioxid ($PetCO_2$) (y-Achse) gegen die Versuchszeit (x-Achse) aufgetragen. Da bei anaerober Energiegewinnung die VCO_2 stärker ansteigt als bisher und die VO_2 weiterhin nur linear steigt, nimmt von nun an der $PetO_2$ zu, während der $PetCO_2$ erst konstant bleibt und später abfällt. Nach Wassermann wurde die anaerobe Schwelle in diesem Diagramm mit Beginn eines Anstiegs der $PetO_2$ -Kurve bei unverändertem oder abfallendem Verlauf der $PetCO_2$ -Kurve determiniert.

Gelang es der Spirometrie-Software nicht die anaerobe Schwelle nach der V-Slope-Methode zu berechnen, so wurde versucht, die anaerobe Schwelle zuerst nach der V-Slope- und bei weiterem Misslingen nach der $PetO_2$ -Methode von Hand festzulegen.

Die erreichte anaerobe Schwelle wird in Prozent des VO_{2max} -Sollwertes angegeben. Dieser entspricht dem Mittelwert der VO_{2max} in der Gruppe gleichen Alters und Geschlechts im Vergleichskollektiv.

2.5 Abbruchkriterien

Folgende Kriterien stellten die Indikation zur Beendigung der Belastungsphase und dem Beginn der Abwärmphase dar:

1. Muskuläre Erschöpfung, Atemnot, Thoraxschmerzen, Schwindel, Probleme beim Laufen oder sonstige Beschwerden des Probanden.
2. Schwerwiegende Rhythmusstörungen im EKG (Couplets, Bigeminus, etc.).
3. Das Erreichen einer Herzfrequenz von mehr als 200 Schlägen pro Minute.

2.6 Statistische Methoden

Die Ergebnisse der beiden Gruppen wurden mittels einer dreidimensionalen multivariaten Varianzanalyse auf ihre Signifikanz überprüft. Das Signifikanzniveau betrug 0,05. Um altersabhängige Unterschiede den einzelnen Altersgruppen (I-IV) zuzuordnen, wurde ein Scheffé-Test durchgeführt.

Für den Vergleich der Probanden mit und ohne Herzschrittmacher, bzw. mit und ohne Vitium, innerhalb des Patientenkollektivs wurde jeweils eine zweidimensionale, multivariate Varianzanalyse verwendet. Das Signifikanzniveau betrug auch hier 0,05.

Um grenzwertnahe Signifikanzwerte zu prüfen, wurde eine Bonferroni-Korrektur verwendet. Die Bonferroni-Korrektur prüft die Signifikanzwerte unter Berücksichtigung der Tatsache, dass sich bei einer größeren Anzahl von Signifikanztests ein oder mehrere Parameter zufällig signifikant voneinander unterscheiden können.

3 Ergebnisse

3.1 Echokardiografie

Patient	Gewicht (kg)/Größe (cm)/ Körperoberfläche (m ²)	enddiastolischer LV-Durchmesser in cm (Normwert in cm)	shortening fraction
S.L.	25 / 126 / 0,94	5,70 (3,71±0,61)	normal
T.J.	61 / 155 / 1,60	4,36 (4,54±0,64)	normal
C.S.	29 / 140 / 1,08	2,97 (3,94±0,69)	normal
H.D.	23 / 123 / 0,89	4,14 (3,71±0,61)	normal
J.A.	43 / 157 / 1,39	5,25 (4,33±0,6)	normal
S.E.	60 / 161 / 1,63	4,69 (4,54±0,64)	normal
E.K.	18 / 122 / 0,80	4,13 (3,58±0,62)	normal
K.P.	25 / 135 / 0,99	3,83 (3,85±0,68)	normal
A.R.	42 / 137 / 1,25	3,55 (4,24±0,66)	normal
C.K.	41 / 146 / 1,29	4,39 (4,24±0,66)	normal
C.B.	36 / 142 / 1,20	3,91 (4,17±0,62)	normal
T.H.	52 / 182 / 1,68	4,38 (4,68±0,6)	normal
T.R.	58 / 172 / 1,69	5,78 (4,68±0,6)	normal
A.A.	24 / 117 / 0,88	3,14 (3,71±0,61)	normal
S.S.	48 / 161 / 1,48	4,90 (4,54±0,64)	normal
T.K.	34 / 145 / 1,19	4,84 (4,17±0,62)	normal
E.D.	35 / 139 / 1,17	4,08 (4,17±0,62)	normal
D.R.	29 / 136 / 1,06	3,93 (3,94±0,69)	normal

Tabelle 3.1.1 Morphometrische Daten, LV-Grösse und shortening fraction. Die verwendeten Normbereiche sind von der Körperoberfläche ($KOF = \text{Gewicht}^{0,425} \times \text{Größe}^{0,725} \times 0,007184$) abhängig²⁸.

Bei den vier in Tabelle 3.1.1 fettgedruckten Probanden lag eine linksventrikuläre Vergrößerung vor. Die Shortening Fraction war bei allen Patienten normal.

3.2 Spiroergometrie

Im Patientenkollektiv erreichten die Mädchen der Gruppe 1 im Schnitt die 5. (±1) Stufe, die Mädchen der gleichen Altersgruppe im Vergleichskollektiv erreichten im Mittel die Stufe 6(±1). In der Altersgruppe 2 wurde von den Mädchen sowohl in der Patientengruppe, als auch in der Vergleichsgruppe durchschnittlich die Stufe 6 (±1) erreicht. Die Mädchen mit CAVB der Altersgruppe 3 durchliefen das Protokoll im Schnitt bis zur Stufe 7 (±3). Die gleichaltrigen Mädchen der Vergleichsgruppe erreichten im Mittel Stufe 8 (±1). In der Altersgruppe 4 erreichten die gesunden Mädchen im Mittel die Stufe 8 (±1). In der Patientengruppe waren keine weiblichen Probanden diesen Alters vorhanden.

Im männlichen Patientenkollektiv erreichte der Proband der Altersgruppe 1 die Belastungsstufe 6. Die gesunden Jungen dieser Altersgruppe erreichten im Schnitt Stufe 8 (±1). In der Altersgruppe 2 erreichten die Jungen mit CAVB im Mittel die Belastungsstufe 6

(± 1). Die gesunden männlichen Probanden erreichten durchschnittlich die Stufe 9 (± 1) im Protokoll. Die Jungen des Patientenkollektivs in der Altersgruppe 3 erreichten im Mittel die Belastungsstufe 7 (± 1). Die gleichaltrigen männlichen Probanden der Vergleichsgruppe durchliefen das Protokoll im Mittel bis Stufe 8 (± 1). In der Altersgruppe 4 erreichten die Jungen mit CAVB durchschnittlich Belastungsstufe 7 (± 1), die Jungen der Vergleichsgruppe gleichen Alters erreichten im Schnitt Belastungsstufe 10 (± 1) (s. Tabelle 3.2.2).

Die mittlere Belastungsdauer der Untersuchung betrug im weiblichen Patientenkollektiv der Altersgruppe 1 8,88 ($\pm 2,95$) Minuten. Bei den Mädchen gleichen Alters der Vergleichsgruppe betrug die durchschnittliche Belastungsdauer 9,95 ($\pm 2,46$) Minuten. Bei den Mädchen mit CAVB der Altersgruppe 2 dauerte Belastung im Schnitt 11,65 ($\pm 0,48$) Minuten, bei den gleichaltrigen Mädchen der Vergleichsgruppe betrug die Belastungsdauer im Mittel 11,42 ($\pm 2,14$) Minuten. In der Altersgruppe 3 beendeten die weiblichen Versuchsprobanden des Patientenkollektivs die Belastung im Schnitt nach 12,79 ($\pm 4,58$) Minuten. Bei den weiblichen Vergleichsprobanden gleichen Alters betrug die mittlere Belastungsdauer 13,93 ($\pm 1,39$) Minuten. Bei den gesunden Mädchen der Altersgruppe 4 betrug die Belastungsdauer im Schnitt 14,63 ($\pm 1,05$) Minuten. Der Junge mit CAVB der Altersgruppe 1 erreichte eine Belastungsdauer von 10,02 Minuten. Bei den männlichen, gleichaltrigen Vergleichsprobanden betrug die Belastungsdauer im Mittel 13,65 ($\pm 2,46$) Minuten. In der Altersgruppe 2 dauerte die Belastung bei den Jungen des Patientenkollektivs durchschnittlich 11,48 ($\pm 1,18$) Minuten. Bei den Jungen ohne CAVB der Altersgruppe 2 betrug die Belastungsdauer im Schnitt 16,08 ($\pm 1,42$) Minuten. Die Probanden der Altersgruppe 3 des Patientenkollektivs erreichten das Belastungsende im Schnitt nach 13,26 ($\pm 2,33$) Minuten. Bei den gesunden Probanden der gleichen Altersgruppe betrug die Belastungsdauer durchschnittlich 15,47 ($\pm 2,76$) Minuten. In der Altersgruppe 4 dauerte die Belastungsphase bei den männlichen Probanden mit CAVB im Mittel 12,91 ($\pm 1,90$) Minuten. Bei den gleichaltrigen Vergleichsprobanden betrug die mittlere Belastungsdauer 18,20 ($\pm 2,10$) Minuten (Tabelle 3.2.3).

Die Ruhe-Herzfrequenz der Mädchen mit CAVB in der Altersgruppe 1 betrug durchschnittlich 75 (± 39) Schläge pro Minute. Bei den gesunden Mädchen der gleichen Altersgruppe lag dieser Wert im Mittel bei 111 (± 24) Schlägen pro Minute. Die weiblichen Probanden der Altersgruppe 2 des Patientenkollektivs wiesen eine mittlere Ruhe-Herzfrequenz von 98 (± 10) Schlägen pro Minute auf. Die gleichaltrigen Vergleichsprobanden weiblichen Geschlechts hatten eine durchschnittliche Ruhe-Herzfrequenz von 96 (± 6) Schlägen pro Minute. In der Altersgruppe 3 der weiblichen Patientengruppe betrug die Ruhe-Herzfrequenz im Schnitt 64 (± 25) Schläge pro Minute. Dieser Wert lag in der weiblichen Altersgruppe 3 des

Vergleichskollektivs bei 105 (± 11) Schlägen pro Minute. Die gesunden Mädchen der Altersgruppe 4 wiesen eine mittlere Ruhe-Herzfrequenz von 113 (± 12) Schlägen pro Minute auf. Bei dem Jungen mit CAVB der Altersgruppe 1 betrug die Ruhe-Herzfrequenz 96 Schläge pro Minute. Die gleichaltrigen, männlichen Vergleichsprobanden hatten eine mittlere Ruhe-Herzfrequenz von 105 (± 17) Schlägen pro Minute. Die Jungen der Altersgruppe 2 des Patientenkollektivs hatten eine durchschnittliche Ruhe-Herzfrequenz von 64 (± 17) Schlägen pro Minute. Dieser Wert lag bei den männlichen Vergleichsprobanden gleichen Alters im Schnitt bei 102 (± 11) Schlägen pro Minute. Die Jungen der Altersgruppe 3 im Patientenkollektiv wiesen eine mittlere Ruhe-Herzfrequenz von 62 (± 15) Schlägen pro Minute auf. In der männlichen Vergleichsgruppe gleichen Alters lag dieser Wert im Mittel bei 106 (± 18) Schlägen pro Minute. Die Probanden des männlichen Patientenkollektivs der Altersgruppe 4 hatten eine mittlere Ruhe-Herzfrequenz von 75 (± 13) Schlägen pro Minute. Bei den männlichen, gleichaltrigen Vergleichsprobanden wurde eine durchschnittliche Ruhe-Herzfrequenz von 91 (± 21) Schlägen pro Minute beobachtet (s. Tabelle 3.2.4).

Unter maximaler Belastung stieg die Herzfrequenz im weiblichen Patientenkollektiv der Altersgruppe 1 durchschnittlich bis auf 123 (± 4) Schläge pro Minute an. Bei den gesunden Mädchen der gleichen Altersgruppe betrug die maximale Herzfrequenz im Schnitt 185 (± 6) Schläge pro Minute. Die Mädchen mit CAVB der Altersgruppe 2 hatten unter maximaler Belastung eine mittlere Herzfrequenz von 133 (± 19) Schlägen pro Minute. Die gleichaltrigen gesunden Mädchen wiesen im Mittel eine maximale Herzfrequenz von 182 (± 14) Schlägen auf. Die weiblichen Probanden der Altersgruppe 3 des Patientenkollektivs hatten unter maximaler Belastung eine durchschnittliche Herzfrequenz von 106 (± 42) Schlägen pro Minute. Die Mädchen der Altersgruppe 3 ohne CAVB wiesen im Mittel eine maximale Herzfrequenz von 198 (± 6) Schlägen pro Minute auf. Die gesunden Mädchen der Altersgruppe 4 hatten im Schnitt eine maximale Herzfrequenz von 199 (± 10) Schlägen pro Minute. Der Junge der Altersgruppe 1 des Patientenkollektivs hatte eine maximale Herzfrequenz von 113 Schlägen pro Minute. Die männlichen Vergleichsprobanden derselben Altersgruppe hatten durchschnittlich eine maximale Herzfrequenz von 187 (± 6) Schlägen pro Minute. Unter maximaler Belastung lag die Herzfrequenz der Jungen mit CAVB in der Altersgruppe 2 im Schnitt bei 119 (± 25) Schlägen pro Minute. Die gleichaltrigen Jungen der Vergleichsgruppe wiesen im Schnitt eine maximale Herzfrequenz von 193 (± 8) Schlägen pro Minute auf. Die männlichen Patienten der Altersgruppe 3 hatten durchschnittlich eine maximale Herzfrequenz von 139 (± 51) Schlägen pro Minute. Bei den gesunden, gleichaltrigen Jungen lag dieser Wert im Mittel bei 193 (± 7) Schlägen pro Minute. Die Jungen mit CAVB der Altersgruppe 4 hatten im Schnitt eine maximale Herzfrequenz von 97 (± 38)

Schlägen pro Minute. Bei den gleichaltrigen Jungen des Vergleichskollektives lag die maximale Herzfrequenz durchschnittlich bei 197 (± 8) Schlägen pro Minute (s. Tabelle 3.2.5).

Bei den Mädchen mit CAVB der Altersgruppe 1 betrug der absolute Anstieg der Herzfrequenz im Mittel 48 (± 35) Schläge pro Minute. Die Mädchen ohne CAVB derselben Altersgruppe wiesen einen durchschnittlichen, absoluten Herzfrequenzanstieg von 74 (± 22) Schlägen pro Minute auf. Die weiblichen Probanden der Altersgruppe 2 des Patientenkollektives zeigten im Schnitt einen absoluten Herzfrequenzanstieg von 36 (± 17) Schlägen pro Minute. Bei den gesunden Mädchen gleichen Alters betrug dieser Wert im Mittel 86 (± 14) Schläge pro Minute. Die weiblichen Probanden der Altersgruppe 3 des Patientenkollektives hatten einen mittleren, absoluten Herzfrequenzanstieg von 42 (± 16) Schlägen pro Minute. Bei den gleichaltrigen, gesunden Mädchen stieg die Herzfrequenz durchschnittlich um 93 (± 9) Schläge pro Minute. Die Mädchen der Altersgruppe 4 des Vergleichskollektives zeigten im Schnitt einen absoluten Herzfrequenzanstieg von 87 (± 3) Schlägen pro Minute. Der Junge mit CAVB der Altersgruppe 1 hatte einen absoluten Herzfrequenzanstieg von 17 Schlägen pro Minute. Bei den gleichaltrigen, männlichen Vergleichsprobanden lag dieser Wert durchschnittlich bei 82 (± 23) Schlägen pro Minute. Die Jungen der Altersgruppe 4 des Patientenkollektives zeigten im Schnitt einen absoluten Anstieg der Herzfrequenz von 55 (± 16) Schlägen pro Minute. Die gesunden Jungen der Altersgruppe 2 wiesen durchschnittlich einen absoluten Herzfrequenzanstieg von 91 (± 12) Schlägen pro Minute auf. Bei den Jungen mit CAVB der Altersgruppe 3 lag der absolute Herzfrequenzanstieg im Mittel bei 77 (± 37) Schlägen pro Minute. Die gleichaltrigen, männlichen Vergleichsprobanden hatten im Schnitt einen absoluten Herzfrequenzanstieg von 87 (± 19) Schlägen pro Minute. In der Altersgruppe 4 des männlichen Patientenkollektives betrug der absolute Herzfrequenzanstieg durchschnittlich 23 (± 25) Schläge pro Minute. Bei den gesunden Jungen derselben Altersgruppe lag der absolute Herzfrequenzanstieg im Mittel bei 107 (± 18) Schlägen pro Minute (s. Tabelle 3.2.6).

In der Altersgruppe 1 des weiblichen Patientenkollektives lag die VO_{2max} im Schnitt bei 33,1 ($\pm 17,9$) ml/min/kg Körpergewicht. Die weiblichen Vergleichsprobanden gleichen Alters wiesen eine VO_{2max} von durchschnittlich 37,3 ($\pm 6,4$) ml/min/kg Körpergewicht auf. Bei den Mädchen mit CAVB lag in der Altersgruppe 2 die mittlere, VO_{2max} bei 30,6 ($\pm 2,6$) ml/min/kg Körpergewicht. Bei den gleichaltrigen, weiblichen Vergleichsprobanden lag dieser Wert im Schnitt bei 35,8 ($\pm 2,8$) ml/min/kg Körpergewicht. Die Mädchen der Altersgruppe 3 im Patientenkollektiv zeigten im Mittel ein VO_{2max} von 29,8 ($\pm 7,9$) ml/min/kg Körpergewicht. Die gesunden Mädchen der Vergleichsgruppe hatten eine VO_{2max} von durchschnittlich 36,6 ($\pm 5,5$) ml/min/kg Körpergewicht. Die weiblichen Probanden der Altersgruppe 4 des

Vergleichskollektives hatten im Schnitt eine VO_{2max} von 37,7 ($\pm 2,4$) ml/min/kg Körpergewicht. In der Altersgruppe 1 wies der Junge mit CAVB eine VO_{2max} von 31,0 ml/min/kg Körpergewicht auf. Die gleichaltrigen Jungen der Vergleichsgruppe hatten eine VO_{2max} von durchschnittlich 39 ($\pm 4,1$) ml/min/kg Körpergewicht. Die VO_{2max} der männlichen Probanden der Altersgruppe 2 des Patientenkollektives hatten im Schnitt eine VO_{2max} von 35,7 ($\pm 7,7$) ml/min/kg Körpergewicht. Die gesunden Jungen derselben Altersgruppe hatten eine VO_{2max} von durchschnittlich 47,2 ($\pm 3,3$) ml/min/kg Körpergewicht. Die männlichen Probanden der Altersgruppe 3 des Patientenkollektives wiesen im Mittel eine VO_{2max} von 37,7 ($\pm 11,7$) ml/min/kg Körpergewicht auf. Dieser Wert lag bei den männlichen Vergleichsprobanden gleichen Alters im Schnitt bei 48,5 ($\pm 7,5$) ml/min/kg Körpergewicht. Die Jungen mit CAVB der Altersgruppe 4 hatten eine VO_{2max} von durchschnittlich 32,5 ($\pm 2,5$) ml/min/kg Körpergewicht. In der Altersgruppe 4 des männlichen Vergleichskollektives lag dieser Wert im Mittel bei 55,1 ($\pm 10,4$) ml/min/kg Körpergewicht (s. Tabelle 3.2.7).

Im Folgenden ist anzumerken, dass das in 7 Fällen (3 mal im Patienten- und 4 mal im Vergleichskollektiv) die anaerobe Schwelle aufgrund einer paradoxen Atmung der Probanden mit den oben aufgeführten Methoden nicht erfasst werden konnte.

Bei keinem der weiblichen Probanden der Altersgruppe 1 im Patientenkollektiv konnte die anaerobe Schwelle bestimmt werden. Das gesunde Mädchen der Altersgruppe 1 wies an der anaeroben Schwelle eine VO_2 von 21,4 ml/min/kg Körpergewicht auf, was 57,4 % des VO_{2max} -Sollwertes entspricht. Die durchschnittliche VO_2 an der anaeroben Schwelle betrug für die Mädchen mit CAVB in der Altersgruppe 2 18,0 ($\pm 1,3$) ml/min/kg Körpergewicht. Das ist im Mittel eine VO_2 von 50,3 ($\pm 3,5$) % des VO_{2max} -Sollwertes. Die gleichaltrigen, weiblichen Probanden der Vergleichsgruppe wiesen an der anaeroben Schwelle im Schnitt eine VO_2 von 21,2 ($\pm 1,7$) ml/min/kg Körpergewicht auf, was im Schnitt 59,3 ($\pm 4,7$) % des VO_{2max} -Sollwertes entspricht. Die Mädchen der Altersgruppe 3 des Patientenkollektives hatten an der anaeroben Schwelle im Mittel eine VO_2 von 17,4 ($\pm 3,8$) ml/min/kg Körpergewicht. Die VO_2 dieser Mädchen betrug damit an der anaeroben Schwelle durchschnittlich 47,5 ($\pm 10,4$) % des VO_{2max} -Sollwertes. Bei den gesunden Mädchen derselben Altersgruppe lag die VO_2 an der anaeroben Schwelle durchschnittlich bei 22,1 ($\pm 3,2$) ml/min/kg Körpergewicht und betrug im Mittel 60,9 ($\pm 8,8$) % des VO_{2max} -Sollwertes. Die gesunden Mädchen der Altersgruppe 4 hatten an der anaeroben Schwelle im Schnitt eine VO_2 von 22,7 ($\pm 2,8$) ml/min/kg Körpergewicht, was durchschnittlich 60,9 ($\pm 7,4$) % des VO_{2max} -Sollwertes entspricht. In der Altersgruppe 1 wies der Junge mit CAVB an der anaeroben Schwelle eine VO_2 von 18,3 ml/min/kg Körpergewicht auf. Dieser VO_2 -Wert beträgt 46,9% des VO_{2max} -Sollwertes. Bei den gleichaltrigen Jungen der Vergleichsgruppe lag dieser Wert im Schnitt bei 25,4 ($\pm 5,1$) ml/min/kg Körpergewicht und betrug durchschnittlich 65,2 ($\pm 13,1$) % des VO_{2max} -Sollwertes. Die männlichen Probanden der

Altersgruppe 2 des Patientenkollektives zeigten an der anaeroben Schwelle im Mittel eine VO_2 von 20,9 ($\pm 5,5$) ml/min/kg Körpergewicht, was durchschnittlich 44,2 ($\pm 11,6$) % des VO_{2max} -Sollwertes gleichkommt. Dieser Wert lag bei den gesunden Jungen derselben Altersgruppe im Schnitt bei 23,6 ($\pm 3,2$) ml/min/kg Körpergewicht. Dieser VO_2 -Wert entspricht im Mittel 49,9 ($\pm 6,8$) % des VO_{2max} -Sollwertes. Die männlichen Probanden der Altersgruppe 3 im Patientenkollektiv zeigten an der anaeroben Schwelle eine VO_2 von durchschnittlich 18,4 ($\pm 8,3$) ml/min/kg Körpergewicht, was im Mittel 44,0 ($\pm 27,2$) % des VO_{2max} -Sollwertes gleichkommt. Die gesunden, männlichen Probanden der Altersgruppe 3 hatten an der anaeroben Schwelle eine mittlere VO_2 von 29,8 ($\pm 4,8$) ml/min/kg Körpergewicht, welche durchschnittlich 61,4 ($\pm 10,0$) % des VO_{2max} -Sollwertes betrug. Die Jungen mit CAVB der Altersgruppe 4 wiesen an der anaeroben Schwelle im Mittel eine VO_2 von 18,1 ($\pm 0,4$) ml/min/kg Körpergewicht auf. Dies entspricht im Schnitt 32,8 ($\pm 0,8$) % des VO_{2max} -Sollwertes. Die gleichaltrigen, gesunden Jungen hatten an der anaeroben Schwelle eine durchschnittliche VO_2 von 29,2 ($\pm 4,4$) ml/min/kg Körpergewicht, welche im Mittel 53,0 ($\pm 8,1$) % des VO_{2max} -Sollwertes entsprach (s. Tabelle 3.2.8 und Tabelle 3.2.9).

Die folgenden Tabellen (Tab. 3.2.1 – Tab. 3.2.9) geben die individuellen Messwerte der Probanden des Patientenkollektives und die Mittelwerte und Standardabweichungen der oben genannten Messwerte (abhängige Variablen) nach AV-Block, Alter und Geschlecht getrennt wieder

Na- me	max. Belastungs- stufe	Belastungs- zeit (min)	Ruhe- Hf (S/min)	max. Hf (S/min)	Hf- Anstieg (S/min)	VO _{2max} (ml/min/ kgKG)	VO ₂ an der anaero- ben Schwel- le (ml/min/ kgKG)	VO ₂ an der an- aeroben Schwelle in % des VO _{2max} - Sollwer- tes	Schritt- macher- tätigkeit unter maxi- maler Belas- tung
S.L.	6	11,52	90	150	60	35,4	-	-	kontinu- ierlich
T.J.	6	11,10	70	172	102	29,4	10,9	22,5	intermit- tierend
C.S.	7	12,10	86	120	34	31,6	19,5	54,5	kontinu- ierlich
H.D.	6	10,97	47	120	73	45,7	-	-	kein SM
J.A.	7	12,93	45	80	35	32,5	17,0	35,1	kein SM
S.E.	5	9,55	46	76	30	24,2	14,7	40,2	kein SM
E.K.	4	6,80	102	125	23	20,4	-	-	kontinu- ierlich
K.P.	6	10,13	56	90	34	35,1	21,3	45,1	kein SM
A.R.	6	11,28	55	126	71	26,6	15,2	32,2	kontinu- ierlich
C.K.	6	12,00	100	160	60	28,4	18,6	28,4	kein SM
C.B.	6	11,13	94	121	27	28,4	17,0	47,5	kontinu- ierlich
T.H.	6	11,57	65	70	5	30,7	17,8	32,3	intermit- tierend
T.R.	8	14,25	84	124	40	34,2	18,4	33,4	kontinu- ierlich
A.A.	6	10,02	96	113	17	31,0	18,3	46,9	kontinu- ierlich
S.S.	9	16,03	82	135	53	35,4	20,1	54,9	kontinu- ierlich
T.K.	8	15,73	72	166	94	51,1	27,3	74,6	kein SM
E.D.	6	11,35	110	132	22	33,8	16,9	47,2	intermit- tierend
D.R.	7	13,00	55	110	55	45,5	26,1	55,3	kein SM

Tabelle 3.2.1: Messwerte der Probanden aus dem Patientenkollektiv (SM = Schrittmacher)

Alter		AV-Block		Gesund	
		Mittelwert±SD	Max/Min	Mittelwert±SD	Max/Min
5-7	w	5 ± 1	6 / 4	6 ± 1	7 / 4
	m	6 ± -	6 / 6	8 ± 1	8 / 6
8-10	w	6 ± 1	7 / 6	6 ± 1	8 / 5
	m	6 ± 1	7 / 6	9 ± 1	10 / 8
11-14	w	7 ± 3	9 / 5	8 ± 1	9 / 7
	m	7 ± 1	8 / 6	8 ± 1	10 / 6
15-17	w	-	-	8 ± 1	9 / 7
	m	7 ± 1	8 / 6	10 ± 1	10 / 9

Tabelle 3.2.2: Max. Belastungsstufe

Alter		AV-Block		Gesund	
		Mittelwert±SD	Max/Min	Mittelwert±SD	Max/Min
5-7	w	8,88 ± 2,95	10,97 / 16,80	09,95 ± 2,46	13,37 / 17,85
	m	10,02 ± -	10,02 / 10,02	13,65 ± 2,46	15,40 / 10,07
8-10	w	11,65 ± 0,48	12,10 / 11,13	11,42 ± 2,14	14,03 / 8,13
	m	11,48 ± 1,18	13,00 / 10,13	16,08 ± 1,42	18,10 / 14,08
11-14	w	12,79 ± 4,58	16,03 / 9,55	13,93 ± 1,39	16,35 / 12,08
	m	13,26 ± 2,33	15,73 / 11,10	15,47 ± 2,76	20,00 / 11,75
15-17	w	-	-	14,63 ± 1,05	16,07 / 13,67
	m	12,91 ± 1,90	14,25 / 11,57	18,20 ± 2,10	20,00 / 16,02

Tabelle 3.2.3: Dauer der Belastung in Minuten (ohne Auf- und Abwärmphase)

Alter		AV-Block		Gesund	
		Mittelwert±SD	Max/Min	Mittelwert±SD	Max/Min
5-7	w	75 ± 39	102 / 47	111 ± 24	130 / 79
	m	96 ± -	96 / 96	105 ± 17	126 / 88
8-10	w	98 ± 10	110 / 86	96 ± 6	102 / 87
	m	64 ± 17	90 / 55	102 ± 11	118 / 89
11-14	w	64 ± 25	82 / 46	105 ± 11	118 / 84
	m	62 ± 15	72 / 45	106 ± 18	136 / 86
15-17	w	-	-	113 ± 12	124 / 97
	m	75 ± 13	84 / 65	91 ± 21	110 / 63

Tabelle 3.2.4: Herzfrequenz in Ruhe in Schlägen pro Minuten

Alter		AV-Block		Gesund	
		Mittelwert±SD	Max/Min	Mittelwert±SD	Max/Min
5-7	w	123 ± 4	125 / 120	185 ± 16	197 / 162
	m	113 ± -	113 / 113	187 ± 6	194 / 180
8-10	w	133 ± 19	160 / 120	182 ± 14	199 / 161
	m	119 ± 25	150 / 90	193 ± 8	201 / 181
11-14	w	106 ± 42	135 / 76	198 ± 6	204 / 187
	m	139 ± 51	172 / 80	193 ± 7	200 / 180
15-17	w	-	-	199 ± 10	207 / 185
	m	97 ± 38	124 / 70	197 ± 8	205 / 186

Tabelle 3.2.5: Maximal erreichte Herzfrequenz in Schlägen pro Minute

Alter		AV-Block		Gesund	
		Mittelwert±SD	Max/Min	Mittelwert±SD	Max/Min
5-7	w	48 ± 35	73 / 23	74 ± 22	106 / 56
	m	17 ± -	17 / 17	82 ± 23	102 / 54
8-10	w	36 ± 17	60 / 22	86 ± 14	99 / 66
	m	55 ± 16	71 / 34	91 ± 12	109 / 78
11-14	w	42 ± 16	53 / 30	93 ± 9	104 / 80
	m	77 ± 37	102 / 35	87 ± 19	111 / 62
15-17	w	-	-	87 ± 3	89 / 82
	m	23 ± 25	40 / 5	107 ± 18	133 / 92

Tabelle 3.2.6: absoluter Anstieg der Herzfrequenz in Schlägen pro Minute

Alter		AV-Block		Gesund	
		Mittelwert±SD	Max/Min	Mittelwert±SD	Max/Min
5-7	w	33,1 ± 17,9	45,7 / 20,4	37,3 ± 6,4	43,3 / 31,4
	m	31,0 ± -	31,0 / 31,0	39,0 ± 4,1	44,6 / 34,7
8-10	w	30,6 ± 2,6	33,8 / 28,4	35,8 ± 2,8	37,7 / 31,0
	m	35,7 ± 7,7	45,5 / 26,6	47,2 ± 3,3	51,2 / 42,6
11-14	w	29,8 ± 7,9	35,4 / 24,2	36,6 ± 5,5	44,8 / 28,3
	m	37,7 ± 11,7	51,1 / 29,4	48,5 ± 7,5	56,4 / 38,0
15-17	w	-	-	37,3 ± 2,4	40,7 / 35,7
	m	32,5 ± 2,5	34,2 / 30,7	55,1 ± 10,4	65,8 / 46,2

Tabelle 3.2.7: Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme in ml/min/kg Körpergewicht

Alter		AV-Block		Gesund	
		Mittelwert±SD	Max/Min	Mittelwert±SD	Max/Min
5-7	w	-	-	21,4 ± -	21,4 / 21,4
	m	18,3 ± -	18,3 / 18,3	25,4 ± 5,1	32,6 / 20,5
8-10	w	18,0 ± 1,3	19,5 / 16,9	21,2 ± 1,7	23,1 / 18,8
	m	20,9 ± 5,5	26,1 / 15,2	23,6 ± 3,2	27,9 / 18,9
11-14	w	47,5 ± 10,4	54,9 / 40,2	22,1 ± 3,2	28,4 / 18,3
	m	18,4 ± 8,3	27,3 / 10,9	29,8 ± 4,8	34,3 / 23,2
15-17	w	-	-	22,7 ± 2,8	24,6 / 18,7
	m	18,1 ± 0,4	18,4 / 17,8	29,2 ± 4,4	35,0 / 25,0

Tabelle 3.2.8: Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle in ml/min/kg Körpergewicht

Alter		AV-Block		Gesund	
		Mittelwert±SD	Max/Min	Mittelwert±SD	Max/Min
5-7	w	-	-	57,4 ± -	57,4 / 57,4
	m	46,9 ± -	46,9 / 46,9	65,2 ± 13,1	83,6 / 52,6
8-10	w	50,3 ± 3,5	54,5 / 47,2	59,3 ± 4,7	64,5 / 52,5
	m	44,2 ± 11,6	55,3 / 32,2	49,9 ± 6,8	59,1 / 40,0
11-14	w	47,5 ± 10,4	54,9 / 40,2	60,5 ± 8,8	77,6 / 50,0
	m	44,0 ± 27,2	74,6 / 22,5	61,4 ± 10,0	70,7 / 47,8
15-17	w	-	-	60,9 ± 7,4	66,0 / 50,1
	m	32,8 ± 0,8	33,4 / 32,3	53,0 ± 8,1	63,5 / 45,4

Tabelle 3.2.9: VO₂ an der anaeroben Schwelle in Prozent des Sollwertes der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme

Im Folgenden werden die Messwerte (Ruhe-Herzfrequenz, max. Herzfrequenz, Herzfrequenzanstieg, VO_{2max} , VO_2 an der anaeroben Schwelle und anaerobe Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes) der Patientengruppe getrennt nach Geschlecht und Tragen eines Schrittmachers dargestellt (s. Tabelle 3.2.10 bis Tabelle 3.2.15). Bei den 11 schrittmacherimplantierten Probanden der Patientengruppe lag in 3 Fällen während der Belastung ein intermittierender Schrittmacherrhythmus bei konkurrierender Herzaktion vor. Desweiteren konnte die anaerobe Schwelle bei 2 Patienten mit und bei 1 Patienten ohne Schrittmacher nicht bestimmt werden.

Die weiblichen Probanden der Patientengruppe, welche einen Herzschrittmacher trugen wiesen in Ruhe eine mittlere Herzfrequenz von 95 (± 11) Schlägen pro Minute auf. Dagegen lag dieser Wert bei den weiblichen Patienten ohne Schrittmacher im Schnitt bei 64 (± 31) Schlägen pro Minute. Die männlichen, schrittmacherimplantierten Patienten zeigten eine durchschnittliche Ruhe-Herzfrequenz von 77 (± 16) Schlägen pro Minute. Die Jungen der Patientengruppe ohne Schrittmacher hatten im Mittel eine Ruhe-Herzfrequenz von 57 (± 11) Schlägen pro Minute (s. Tabelle 3.2.10).

Unter maximaler Belastung lag die durchschnittliche Herzfrequenz im schrittmacherimplantierten weiblichen Patientenkollektiv bei 127 (± 7) Schlägen pro Minute. Die Mädchen der Patientengruppe ohne Schrittmacher hatten im Schnitt eine maximale Herzfrequenz von 119 (± 42) Schlägen pro Minute. Die Jungen aus dem Patientenkollektiv, die einen Schrittmacher trugen zeigten im Mittel eine maximale Herzfrequenz von 126 (± 35) Schlägen pro Minute. Dieser Wert lag bei den nicht schrittmacherimplantierten, männlichen Patienten durchschnittlich bei 112 (± 38) Schlägen pro Minute (s. Tabelle 3.2.11).

Bei den Mädchen der Patientengruppe mit Schrittmacher betrug der absolute Herzfrequenzanstieg im Schnitt 32 (± 13) Schläge pro Minute. Die Patientinnen ohne Schrittmacher zeigten einen Herzfrequenzanstieg von durchschnittlich 54 (± 22) Schlägen pro Minute. Die Jungen des Patientenkollektivs, die einen Schrittmacher trugen, hatten im Mittel einen absoluten Herzfrequenzanstieg von 49 (± 36) Schlägen pro Minute. Die Jungen aus der Patientengruppe ohne Schrittmacher hatten einen mittleren Herzfrequenzanstieg von 55 (± 28) Schlägen pro Minute (s. Tabelle 3.2.12).

Die VO_{2max} lag bei den weiblichen Patienten mit Herzschrittmacher im Schnitt bei 29,9 ($\pm 5,9$) ml/min/kg Körpergewicht. Bei den Mädchen der Patientengruppe ohne Schrittmacher lag dieser Wert im Mittel bei 32,8 ($\pm 11,4$) ml/min/kg Körpergewicht. Bei den Jungen der Patientengruppe mit Schrittmacher betrug die VO_{2max} durchschnittlich 31,2 ($\pm 3,2$) ml/min/kg Körpergewicht. Die männlichen Patienten ohne Schrittmacher hatten im Schnitt eine VO_{2max} von 41,1 ($\pm 8,7$) ml/min/kg Körpergewicht (s. Tabelle 3.2.13).

Die VO_2 an der anaeroben Schwelle bei den weiblichen, schrittmacherimplantierten Patienten lag im Mittel bei 18,4 ($\pm 1,7$) ml/min/kg Körpergewicht und betrug im durchschnittlich 51,0 ($\pm 4,1$) % des VO_{2max} -Sollwertes. Die Mädchen der Patientengruppe ohne Schrittmacher zeigten im Schnitt an der anaeroben Schwelle eine VO_2 von 16,7 ($\pm 2,8$) ml/min/kg Körpergewicht, was im Mittel 46,1 ($\pm 8,3$) % des VO_{2max} -Sollwertes gleichkommt. Die Jungen des Patientenkollektivs mit Herzschrittmacher hatten eine mittlere VO_2 an der anaeroben Schwelle von 16,1 ($\pm 3,2$) ml/min/kg Körpergewicht. Diese VO_2 entspricht im Schnitt 33,5 ($\pm 8,7$) % des VO_{2max} -Sollwertes. Bei den männlichen Patienten ohne Herzschrittmacher lag dieser Wert im Mittel bei 22,9 ($\pm 4,7$) ml/min/kg Körpergewicht, was durchschnittlich 52,5 ($\pm 16,9$) % des VO_{2max} -Sollwertes gleichkommt (s. Tabelle 3.2.14 und Tabelle 3.2.15).

	mit SM		ohne SM	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	95 \pm 11	110 / 82	64 \pm 31	100 / 46
m	77 \pm 16	96 / 55	57 \pm 11	72 / 45

Tabelle 3.2.10: Herzfrequenz in Ruhe in Schlägen pro Minute

	mit SM		ohne SM	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	127 \pm 7	135 / 120	119 \pm 42	160 / 76
m	126 \pm 35	172 / 70	112 \pm 38	166 / 80

Tabelle 3.2.11: Maximal erreichte Herzfrequenz in Schlägen pro Minute

	mit SM		ohne SM	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	32 \pm 13	53 / 22	54 \pm 22	73 / 30
m	49 \pm 36	102 / 5	55 \pm 28	94 / 34

Tabelle 3.2.12: Absoluter Anstieg der Herzfrequenz in Schlägen pro Minute

	mit SM		ohne SM	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	29,9 \pm 5,9	35,4 / 20,4	32,8 \pm 11,4	45,7 / 24,2
m	31,2 \pm 3,2	35,4 / 26,6	41,1 \pm 8,7	51,1 / 32,5

Tabelle 3.2.13: VO_{2max} in ml/min/kg Körpergewicht

	mit SM		ohne SM	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	18,4 \pm 1,7	20,1 / 16,9	16,7 \pm 2,8	18,6 / 14,7
m	16,1 \pm 3,2	18,4 / 10,9	22,9 \pm 4,7	27,3 / 17,0

Tabelle 3.2.14: VO₂ an der anaeroben Schwelle in ml/min/kg Körpergewicht

	mit SM		ohne SM	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	51,0 \pm 4,1	54,9 / 47,2	46,1 \pm 8,3	52,0 / 40,2
m	33,5 \pm 8,7	46,9 / 22,5	52,5 \pm 16,9	74,6 / 35,1

Tabelle 3.2.15: VO₂ an der anaeroben Schwelle in Prozent des VO_{2max}-Sollwertes

Im Folgenden wurden die untersuchten Parameter nach stattgefundener Herzoperation, bestehendem Vitium oder chronischer Myokarditis bzw. dem Fehlen der genannten Faktoren getrennt. Bei 3 Patienten der Gruppe mit stattgefundener Herzoperation, bestehendem Vitium oder chronischer Myokarditis konnte die anaerobe Schwelle nicht bestimmt werden.

Die weiblichen Patienten, welche ein bestehendes Vitium, eine chronische Myokarditis oder in ihrer Vorgeschichte eine Herzoperation aufwiesen, hatten im Schnitt eine Ruhe-Herzfrequenz von 84 (\pm 26) Schlägen pro Minute. Die Mädchen der Patientengruppe, die weder ein bestehendes Vitium, noch eine chronische Myokarditis, noch eine Herzoperation in ihrer Anamnese aufwiesen, hatten eine mittlere Ruhe-Herzfrequenz von 83 (\pm 27) Schlägen pro Minute. Die Jungen der Patientengruppe mit bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis bzw. einer Herzoperation hatten im Mittel eine Ruhe-Herzfrequenz von 68 (\pm 16) Schlägen pro Minute. Die männlichen Patienten aus der Gruppe ohne bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis bzw. Herzoperation hatten eine Ruhe-Herzfrequenz von durchschnittlich 70 (\pm 19) Schlägen pro Minute (s. Tabelle 3.2.16).

Die weiblichen Patienten aus der Gruppe mit bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis oder Herzoperation hatten im Schnitt unter maximaler Belastung eine Herzfrequenz von 131 (\pm 19) Schlägen pro Minute. Die Mädchen mit CAVB aus der Gruppe ohne bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis bzw. stattgefundener Herzoperation zeigten eine maximale Herzfrequenz von durchschnittlich 116 (\pm 27) Schlägen pro Minute. Die Jungen der Patientengruppe mit bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis bzw. Herzoperation hatten im Mittel eine maximale Herzfrequenz von 135 (\pm 35) Schlägen pro Minute. Die männlichen Patienten ohne bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis oder Herzoperation hatten im Schnitt eine maximale Herzfrequenz von 111 (\pm 34) Schlägen pro Minute (s. Tabelle 3.2.17).

In der weiblichen Patientengruppe mit bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis oder Herzoperation betrug der absolute Herzfrequenzanstieg durchschnittlich 48 (± 23) Schläge pro Minute. Die Mädchen mit CAVB, die weder ein bestehendes Vitium, noch eine chronische Myokarditis, noch eine Herzoperation in ihrer Vorgeschichte aufwiesen hatten im Schnitt einen absoluten Herzfrequenzanstieg von 33 (± 14) Schlägen pro Minute. Die Jungen der Patientengruppe mit bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis und mit stattgefundener Herzoperation hatten einen absoluten Herzfrequenzanstieg von durchschnittlich 67 (± 28) Schlägen pro Minute. Bei den männlichen Patienten ohne bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis bzw. Herzoperation lag dieser Wert im Mittel bei 41 (± 31) Schlägen pro Minute (s. Tabelle 3.2.18).

Die mittlere VO_{2max} lag bei den Mädchen der Patientengruppe mit bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis oder Herzoperation bei 31,5 ($\pm 10,6$) ml/min/kg Körpergewicht. Die Mädchen des Patientenkollektivs ohne bestehendes Vitium, chronischer Myokarditis bzw. Herzoperation hatten eine VO_{2max} von durchschnittlich 30,4 ($\pm 5,1$) ml/min/kg Körpergewicht. Die Jungen der Patientengruppe mit bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis bzw. Herzoperation hatten eine mittlere VO_{2max} von 31,6 ($\pm 4,3$) ml/min/kg Körpergewicht. Dieser Wert lag bei den männlichen Patienten ohne bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis bzw. Herzoperation im Schnitt bei 37,5 ($\pm 8,6$) ml/min/kg Körpergewicht (s. Tabelle 3.2.19).

Die weiblichen Patienten der Gruppe mit bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis bzw. Herzoperation hatten an der anaeroben Schwelle im Schnitt eine VO_2 von 19,1 ($\pm 0,6$) ml/min/kg Körpergewicht, was im Schnitt 53,2 ($\pm 1,8$) % des VO_{2max} -Sollwertes entspricht. Die Mädchen mit CAVB aus der Gruppe ohne bestehendem Vitium, chronische Myokarditis bzw. Herzoperation hatten an der anaeroben Schwelle eine VO_2 von durchschnittlich 17,2 ($\pm 2,2$) ml/min/kg Körpergewicht, welche im Schnitt 47,4 ($\pm 6,0$) % des VO_{2max} -Sollwertes betrug. Die VO_2 an der anaeroben Schwelle lag bei den Jungen aus der Patientengruppe mit bestehendem Vitium, chronischer Myokarditis bzw. Herzoperation im Mittel bei 15,8 ($\pm 5,2$) ml/min/kg Körpergewicht und betrug durchschnittlich 33,3 ($\pm 11,4$) % des VO_{2max} -Sollwertes. Die Jungen des Patientenkollektivs ohne bestehendes Vitium, chronischer Myokarditis oder Herzoperation hatten an der anaeroben Schwelle eine mittlere VO_2 von 20,8 ($\pm 4,6$) ml/min/kg Körpergewicht, was im Schnitt 46,3 ($\pm 16,6$) % des VO_{2max} -Sollwertes entsprach (s. Tabelle 3.2.20 und Tabelle 3.2.21).

	mit Vitium, OP oder chron. Myokarditis		ohne Vitium, OP oder chron. Myokarditis	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	84 \pm 26	102 / 47	83 \pm 27	110 / 46
m	68 \pm 16	90 / 55	70 \pm 19	96 / 45

Tabelle 3.2.16: Herzfrequenz in Ruhe in Schlägen pro Minute

	mit Vitium, OP oder chron. Myokarditis		ohne Vitium, OP oder chron. Myokarditis	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	131 \pm 19	160 / 120	116 \pm 27	135 / 76
m	135 \pm 35	172 / 90	111 \pm 34	166 / 70

Tabelle 3.2.17: Maximal erreichte Herzfrequenz in Schlägen pro Minute

	mit Vitium, OP oder chron. Myokarditis		ohne Vitium, OP oder chron. Myokarditis	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	48 \pm 23	73 / 23	33 \pm 14	53 / 22
m	67 \pm 28	102 / 34	41 \pm 31	94 / 5

Tabelle 3.2.18: Absoluter Anstieg der Herzfrequenz in Schlägen pro Minute

	mit Vitium, OP oder chron. Myokarditis		ohne Vitium, OP oder chron. Myokarditis	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	31,5 \pm 10,6	45,7 / 20,4	30,4 \pm 5,1	35,4 / 24,2
m	31,6 \pm 4,3	35,4 / 26,6	37,5 \pm 8,6	51,1 / 30,7

Tabelle 3.2.19: VO_{2max} in ml/min/kg Körpergewicht

	mit Vitium, OP oder chron. Myokarditis		ohne Vitium, OP oder chron. Myokarditis	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	19,1 \pm 0,6	19,5 / 18,6	17,2 \pm 2,2	20,1 / 14,7
m	15,8 \pm 5,2	21,3 / 10,9	20,8 \pm 4,6	27,3 / 17,0

Tabelle 3.2.20: VO_2 an der anaeroben Schwelle in ml/min/kg Körpergewicht

	mit Vitium, OP oder chron. Myokarditis		ohne Vitium, OP oder chron. Myokarditis	
	Mittelwert \pm SD	Max/Min	Mittelwert \pm SD	Max/Min
w	53,2 \pm 1,8	54,5 / 52,0	47,4 \pm 6,0	54,9 / 40,2
m	33,3 \pm 11,4	45,1 / 22,5	46,3 \pm 16,6	74,6 / 32,3

Tabelle 3.2.21: VO_2 an der anaeroben Schwelle in Prozent des Sollwertes der maximal erreichten Sauerstoffaufnahme

3.3 Vergleich

Im folgenden werden die Messwerte (s.o.) hinsichtlich der drei unabhängigen Variablen Alter (in den Gruppen I-IV), AV-Block und Geschlecht verglichen. Es ist zu bemerken, dass im weiblichen Patientenkollektiv die Altersgruppe IV unbesetzt blieb. Weiterhin wurde im Vergleich der schrittmacherimplantierten Patienten mit dem Rest der Patientengruppe (s. Tabelle 3.4.1 und Tabelle 3.4.2) ein signifikanter Unterschied in der Ruhe-Herzfrequenz gefunden. Es besteht hinsichtlich dieses Parameters zwischen der Patienten- und der Vergleichsgruppe eine Varianzinhomogenität. Aus diesem Grund wurde in den folgenden Vergleichen der Patienten mit den gesunden Kindern auf eine Auswertung der Variablen „Ruhe-Herzfrequenz“ verzichtet. Der Vergleich der Patientengruppe mit dem Kollektiv gesunder Kinder über alle Altersgruppen ergab für die Messwerte max. Belastungsstufe, Belastungsdauer, max. erreichte Herzfrequenz und absoluter Herzfrequenzanstieg jeweils einen hochsignifikanten Unterschied ($p < 0,001$). Eine graphische Darstellung des Vergleichs geben die Abbildungen 3.3.1 – 3.3.5 wieder.

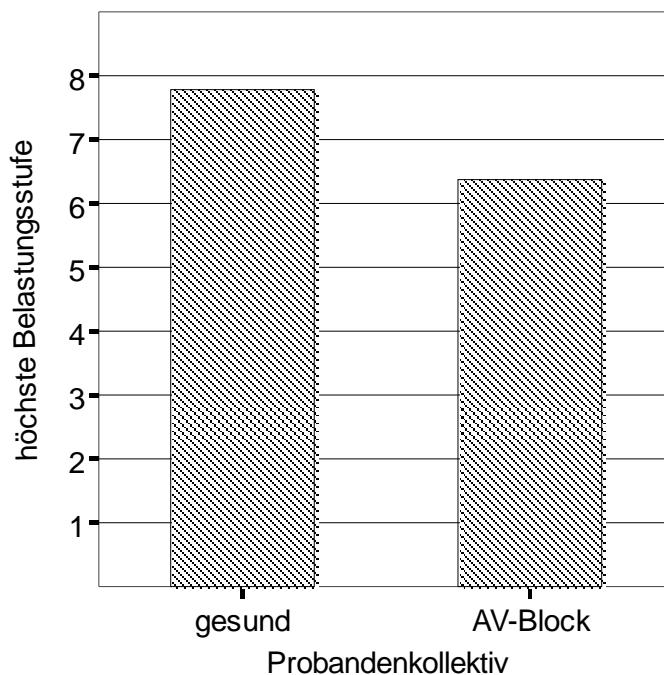


Abbildung 3.3.1: max. Belastungsstufe ($p < 0,001$)

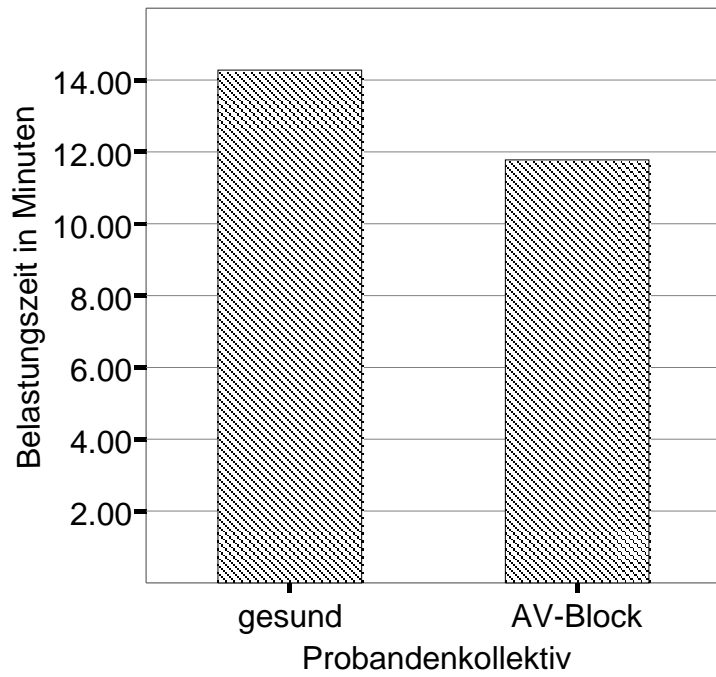


Abbildung 3.3.2: Belastungsdauer in Minuten ($p < 0,001$)

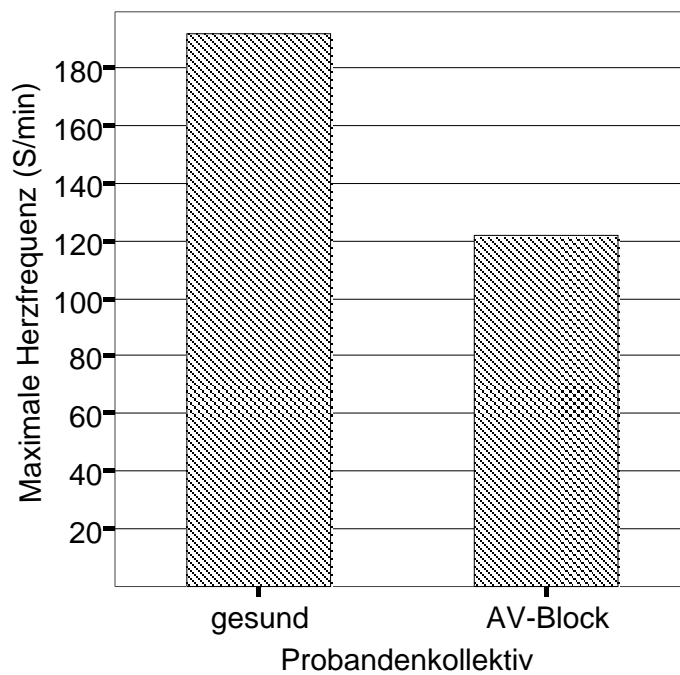


Abbildung 3.3.3: Maximal erreichte Herzfrequenz ($p < 0,001$)

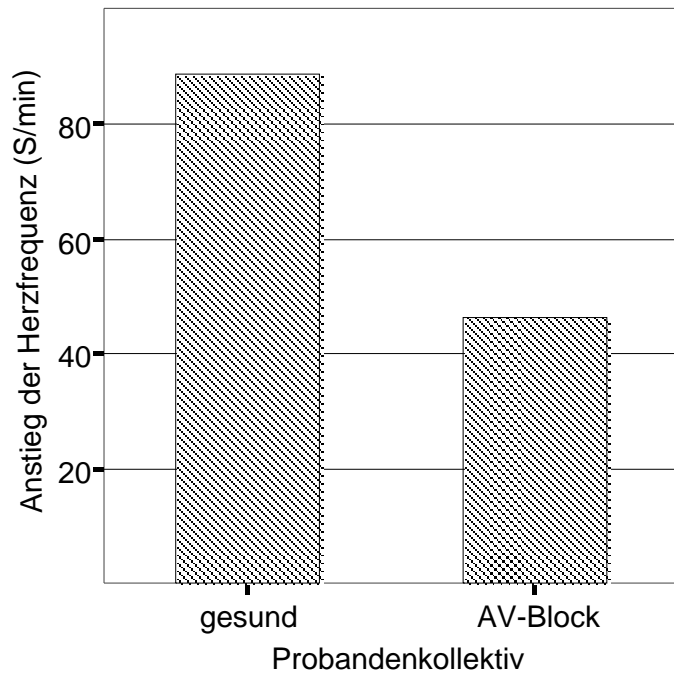


Abbildung 3.3.4: Anstieg der Herzfrequenz ($p < 0,001$)

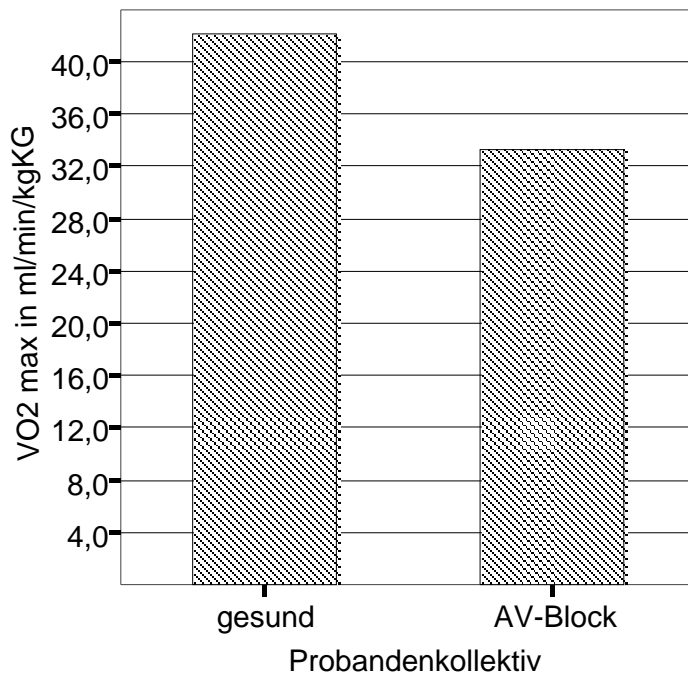


Abbildung 3.3.5: Max. Sauerstoffaufnahme ($p < 0,001$)

Die Abbildungen 3.3.6. – 3.3.8. zeigen geschlechtsabhängige Unterschiede im gesamten Probandenkollektiv für die Werte max. Belastungsstufe ($p=0,005$), Belastungszeit ($p=0,004$) und max. Sauerstoffaufnahme ($p= 0,001$).

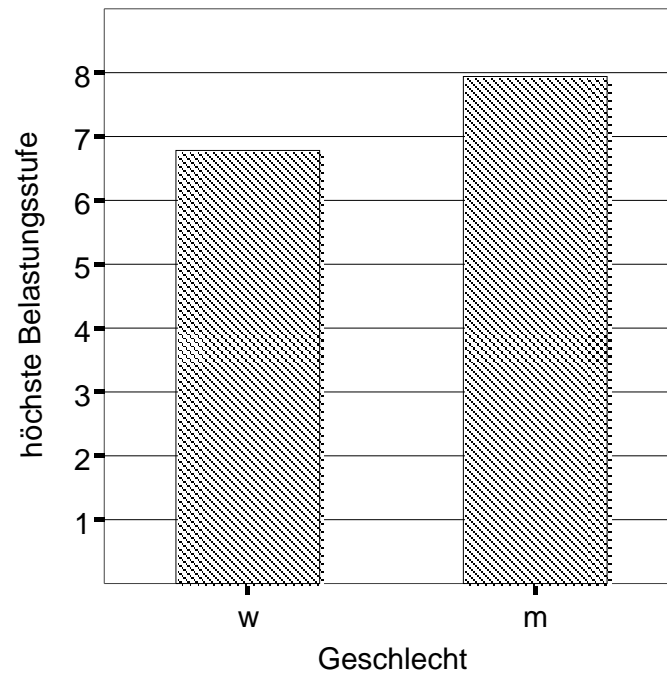


Abbildung 3.3.6: geschlechtsabhängige Unterschiede in der max. Belastungsstufe ($p=0,005$) aller Probanden

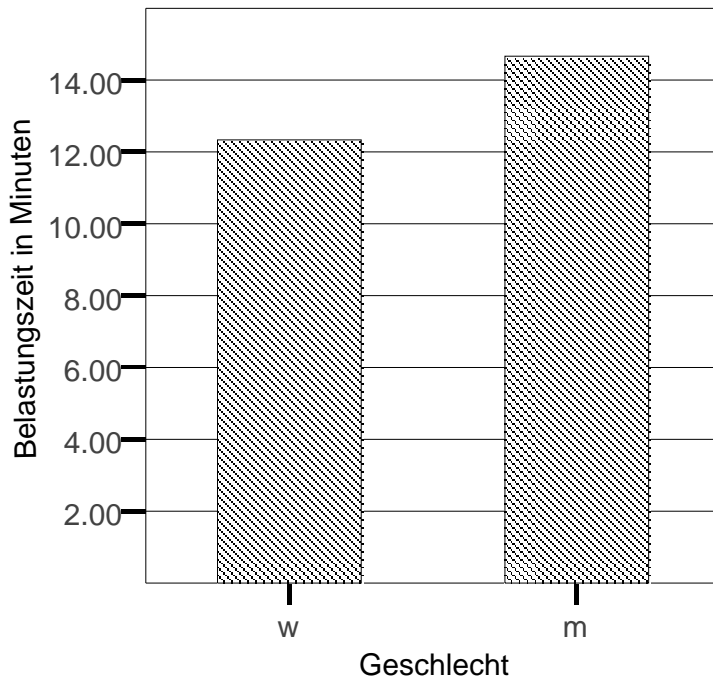


Abbildung 3.3.7: geschlechtsabhängige Unterschiede in der Belastungszeit ($p=0,004$) aller Probanden

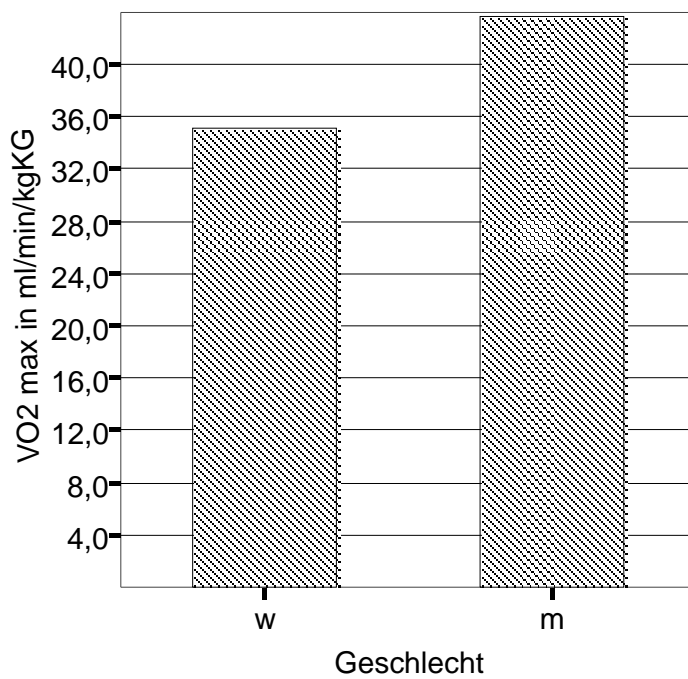


Abbildung 3.3.8: geschlechtsabhängige Unterschiede in der max. Sauerstoffaufnahme ($p=0,001$) aller Probanden

Bei zwei Untersuchungsparametern wurden altersabhängige, signifikante Unterschiede nachgewiesen: max. Belastungsstufe ($p=0,006$) und Belastungszeit ($p=0,002$) (s. Tabelle 3.3.1). Um herauszufinden, zwischen welchen Altersgruppen sich der signifikante Unterschied für diese beiden Messwerte befindet, wurde eine Scheffé-Test durchgeführt. Für den Wert max. Belastungsstufe ergaben sich signifikante Unterschiede beim Vergleich der Altersgruppen 1 und 3 ($p=0,002$), 1 und 4 ($p<0,001$) und 2 und 4 ($p=0,025$). Für den Wert Belastungszeit fanden sich zwischen genau den gleichen Altersgruppen signifikante Unterschiede: 1 und 3 ($p=0,002$), 1 und 4 ($p<0,001$) und 2 und 3 ($p=0,010$). Es wurde ferner untersucht, inwieweit die drei unabhängigen Variablen (Altersgruppe, Geschlecht und AV-Block) hinsichtlich der Messwerte miteinander interagierten, d.h. inwieweit sie sich gegenseitig beeinflussten:

Signifikante Interaktionen der Faktoren Alter und AV-Block wurden für den Herzfrequenzanstieg ($p= 0,045$) nachgewiesen. Desweiteren ergab sich eine signifikante Interaktion von Geschlecht und AV-Block bezüglich der Belastungszeit ($p=0,048$). Eine Interaktion von allen drei unabhängigen Variablen ergab sich hinsichtlich der maximal erreichten Herzfrequenz ($p=0,044$) (s. Tabelle 3.3.1).

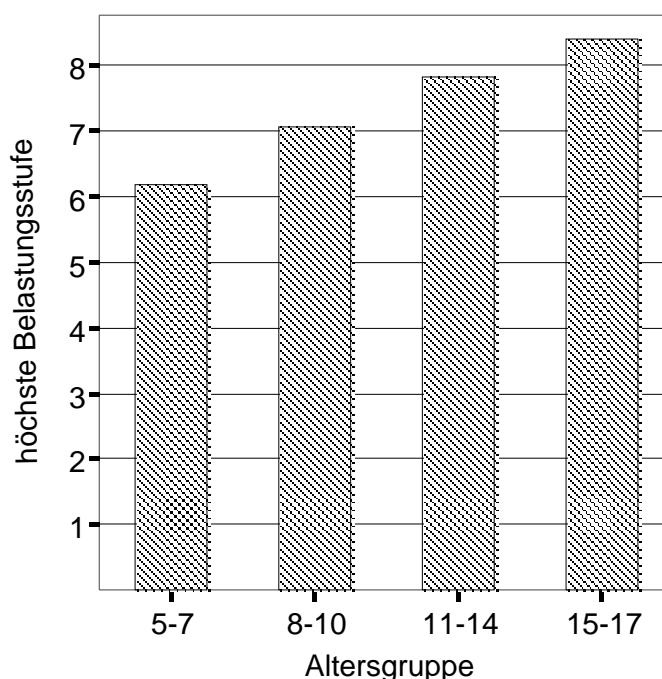


Abbildung 3.3.9: Altersabhängige Unterschiede in der max. Belastungsstufe aller Probanden ($p=0,006$)

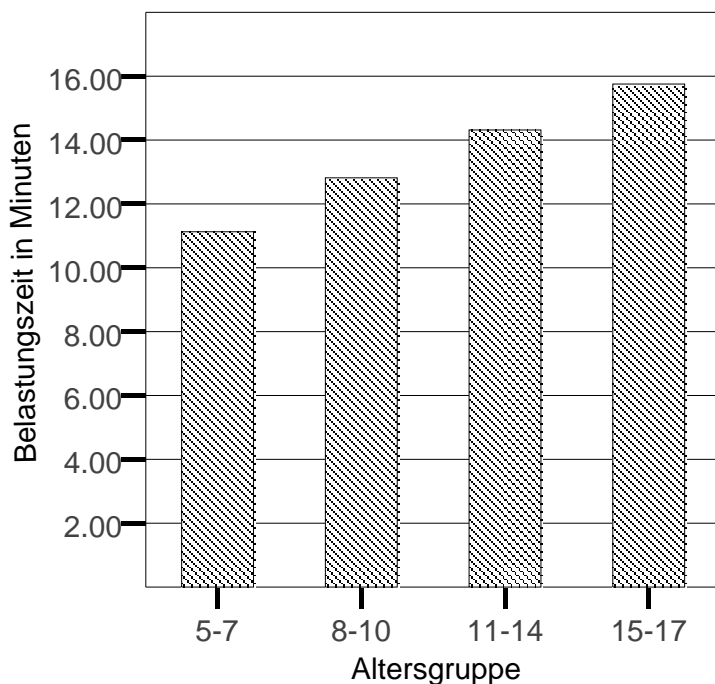


Abbildung 3.3.10: Altersabhängige Unterschiede in der Belastungszeit aller Probanden
($p=0,002$)

Effekt	Max. Belastungsstufe	Belastungszeit	Max. Hf	Hf-Anstieg	VO _{2max}
Altersgruppe	0,006	0,002	n.s.	n.s.	n.s.
AV-Block	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Geschlecht	0,005	0,004	n.s.	n.s.	0,001
Altersgruppe * AV-Block	n.s.	n.s.	n.s.	0,045	n.s.
Altersgruppe * Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AV-Block * Geschlecht	n.s.	0,048	n.s.	n.s.	n.s.
Altersgruppe * AV-Block * Geschlecht	n.s.	n.s.	0,044	n.s.	n.s.

Tabelle 3.3.1: multivariate Varianzanalyse der Probanden aller Altersgruppen

Um den Einfluss der unbesetzten Altersgruppe 4 im weiblichen Patientenkollektiv auf die durchgeführte Varianzanalyse abzuschätzen, wurde eine erneute, dreidimensionale Varianzanalyse für die abhängigen Variablen max. Belastungsstufe, Belastungszeit, max. Hf, Hf - Anstieg und VO_{2max} jedoch nur für die komplett besetzten Altersgruppen 1-3 gerechnet. Hinsichtlich der einzelnen Haupteffekte ergaben sich, wie in der Varianzanalyse der Altersgruppen 1-4, hoch signifikante Unterschiede für genau die gleichen abhängigen

Variablen (s. Tabelle 3.3.1 und Tabelle 3.3.2). Es konnte jedoch keine der oben gefundenen signifikanten Interaktionen nachgewiesen werden. Es ergab sich lediglich für die abhängige Variable maximale Herzfrequenz hinsichtlich einer Interaktion aller drei Hauptfaktoren (Alter, Geschlecht und AV-Block) ein p-Wert von 0,049. Diese Interaktion wird jedoch nicht im Vergleich aller Altersgruppen bestätigt und ist wie die im Gesamtvergleich gefundenen Interaktionen, welche sich nicht im Vergleich der Gruppen 1 bis 3 bestätigen, wahrscheinlich der unbesetzten Altersgruppe 4 zu zuschreiben (s. Tabelle 3.3.2).

Effekt	max. Belastungsstufe	Belastungszeit	Max. Hf	Hf – Anstieg	VO _{2max}
Altersgruppe	0,12	0,006	n.s.	n.s.	n.s.
Geschlecht	0,07	0,12	n.s.	n.s.	0,010
AV-Block	0,003	0,006	<0,001	<0,001	0,001
Altersgruppe * Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Altersgruppe * AV-Block	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AV-Block * Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Altersgruppe * AV-Block * Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	0,049	n.s.

Tabelle 3.3.2: multivariate Varianzanalyse der Altersgruppen 1 – 3

Da die anaerobe Schwelle nicht bei allen Probanden erfasst werden konnte, blieben im weiblichen Patientenkollektiv die Altersgruppen I und IV unbesetzt. Es erfolgte eine separate statistische Auswertung mittels dreidimensionaler, multivariater Varianzanalyse (s.o.). Signifikante Unterschiede zwischen Patienten- und Vergleichsgruppe konnten für die Parameter Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle ($p < 0,001$) sowie für die VO₂ an der anaeroben Schwelle in % des Sollwertes der maximalen Sauerstoffaufnahme ($p = 0,001$) gefunden werden. Weiterhin fand sich ein geschlechtsabhängiger Unterschied in der VO₂ an der anaeroben Schwelle ($p = 0,017$), welcher jedoch nicht im Wert „VO₂ in % des VO_{2max}-Sollwertes“ bestätigt werden konnte (s. Tabelle 3.3.3).

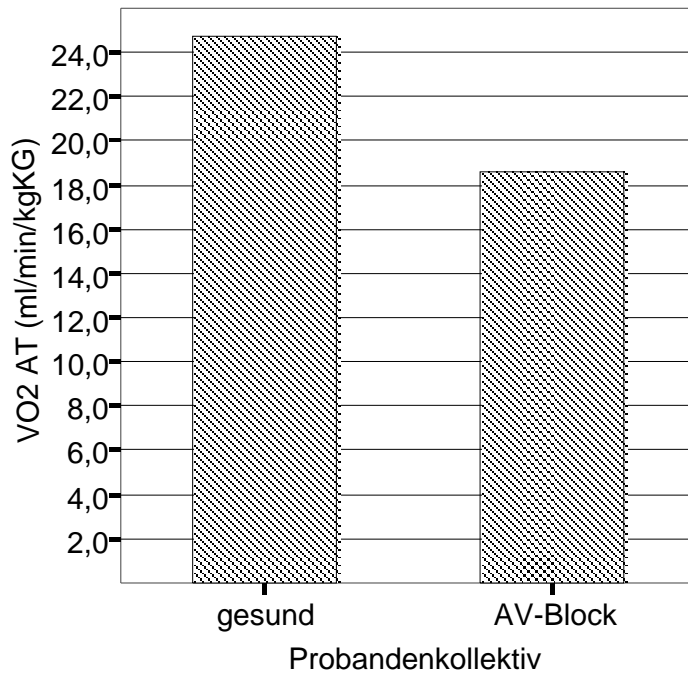


Abbildung 3.3.11: VO₂ an der anaeroben Schwelle (p<0,001) der Altersgruppen I-IV

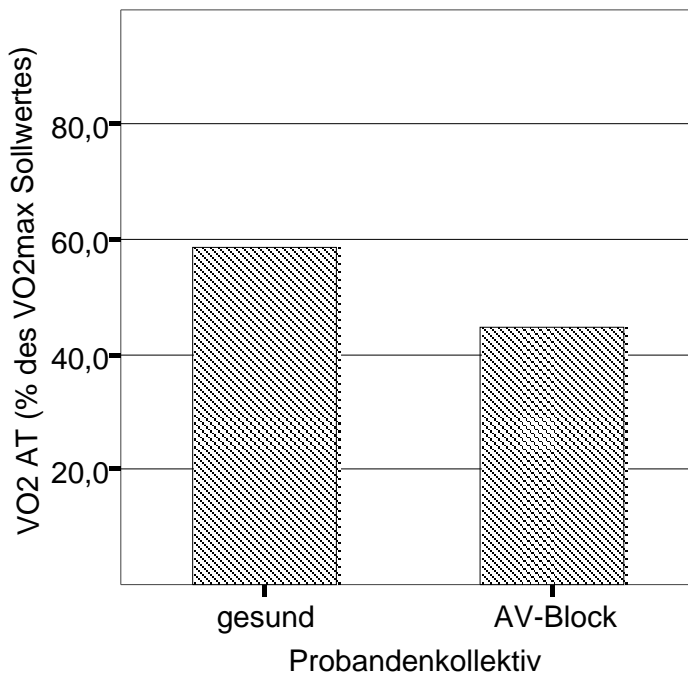


Abbildung 3.3.12: VO₂ an der anaeroben Schwelle (p=0,001) in % des VO_{2max}-Sollwertes der Altersgruppen I-IV

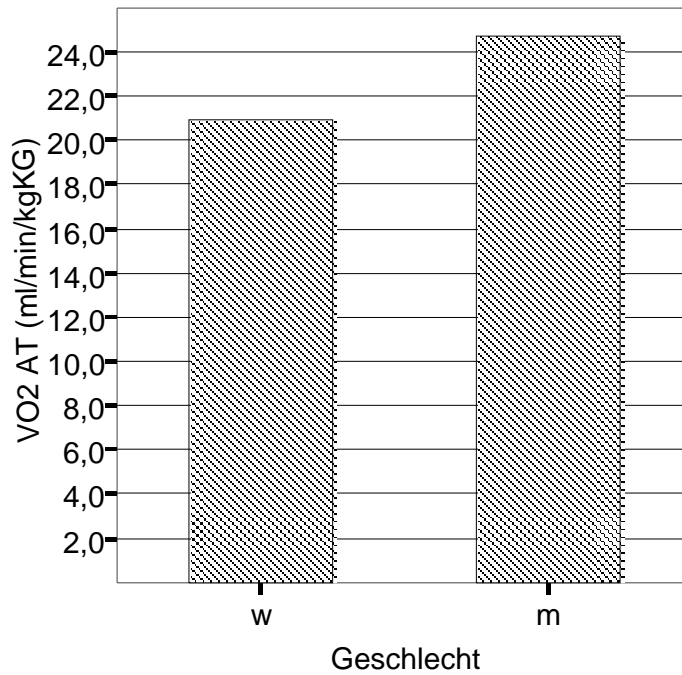


Abbildung 3.3.13: Geschlechtsabhängiger Unterschied in der VO₂ an der anaeroben Schwelle (p=0,017) der Altersgruppen I-IV

Effekt	VO ₂ an der anaeroben Schwelle	VO ₂ an der anaeroben Schwelle in % des VO _{2max} -Sollwertes
Altersgruppe	n.s.	n.s.
AV-Block	<0,001	0,001
Geschlecht	0,017	n.s.
Altersgruppe * Geschlecht	n.s.	n.s.
Altersgruppe * AV-Block	n.s.	n.s.
Geschlecht * AV-Block	n.s.	n.s.
Altersgruppe * AV-Block * Geschlecht	n.s.	n.s.

Tabelle 3.3.3: dreidimensionale, multivariate Varianzanalyse der VO₂ an der anaeroben Schwelle und der VO₂ an der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max}-Sollwertes der Probanden aller Altersgruppen 1 bis 4, bei denen die anaerobe Schwelle bestimmt werden konnte.

Da auch in dieser Analyse zwei unbesetzte Altersgruppen auftraten, wurde wie schon zuvor eine erneute Varianzanalyse jedoch nur mit den komplett besetzten Altersgruppen 2 Und 3 durchgeführt. Bezüglich des Haupteffektes AV-Block ergaben sich auch in diesem Vergleich signifikante Unterschiede für die Parameter VO₂ an der anaeroben Schwelle (p=0,001) und VO₂ an der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max}-Sollwertes (p=0,007). Weiterhin fand sich

auch hier ein geschlechtsabhängiger Unterschied in der VO_2 an der anaeroben Schwelle ($p=0,025$), welcher sich ebenfalls nicht im Parameter „ VO_2 in % des VO_{2max} -Sollwertes“ bestätigt (s. Tabelle 3.3.3 und Tabelle 3.3.4).

Effekt	VO_2 an der anaeroben Schwelle	VO_2 an der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes
Altersgruppe	n.s.	n.s.
AV-Block	0,001	0,007
Geschlecht	0,025	n.s.
Altersgruppe * Geschlecht	n.s.	n.s.
Altersgruppe * AV-Block	n.s.	n.s.
Geschlecht * AV-Block	n.s.	n.s.
Altersgruppe * Geschlecht * AV-Block	n.s.	n.s.

Tabelle 3.3.4: dreidimensionale, multivariate Varianzanalyse der VO_2 an der anaeroben Schwelle und der VO_2 an der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes aller Probanden der Altersgruppen 2 und 3.

3.4 Vergleich von Einflussgrößen innerhalb der Patientengruppe

3.4.1 Herzschrittmacher

Innerhalb der Patientengruppe wurden alle schrittmacherimplantierten Probanden mit denen verglichen, die keinen Schrittmacher besaßen (s. Tabelle 2.1.1, Tabelle 3.2.1 und Tabelle 3.2.10 bis Tabelle 3.2.15). Für diesen Vergleich wurden nur Messwerte herangezogen, die altersunabhängig waren, also: Herzfrequenz in Ruhe und unter maximaler Belastung, der Herzfrequenzanstieg, die maximale Sauerstoffaufnahme, die Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle sowie die anaerobe Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes. Die letzten beiden Parameter konnten bei zwei Patienten mit und einem ohne Schrittmacher nicht bestimmt werden. Erwartungsgemäß fand sich bezüglich der Herzfrequenz in Ruhe ein signifikanter Unterschied ($p=0,009$), d.h. die Kinder mit einem Herzschrittmacher hatten eine höhere Herzfrequenz in Ruhe. Da hinsichtlich dieser Variable die Messwerte bei den Patienten gegenüber den Probanden in der Vergleichsgruppe unnatürlich streuen (Varianzhomogenität), wurde die Variable Herzfrequenz in Ruhe zwar erhoben, jedoch nicht in den Vergleich der Patienten mit den gesunden Kindern einbezogen. Desweiteren traten bei den restlichen abhängigen Variablen hinsichtlich des Tragens eines Herzschrittmachers und des Geschlechts keine signifikanten Unterschiede auf. Eine Interaktion der Effekte Herzschrittmacher und Geschlecht bei den o.g. Variablen lag nicht vor.

Effekt	Ruhe – Hf	max. Hf	Hf - Anstieg	VO_{2max}
SM	0,009	n.s.	n.s.	n.s.
Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
SM * Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabelle 3.4.1: multivariate Varianzanalyse bezüglich des Tragens eines Herzschrittmachers der gesamten Patientengruppe

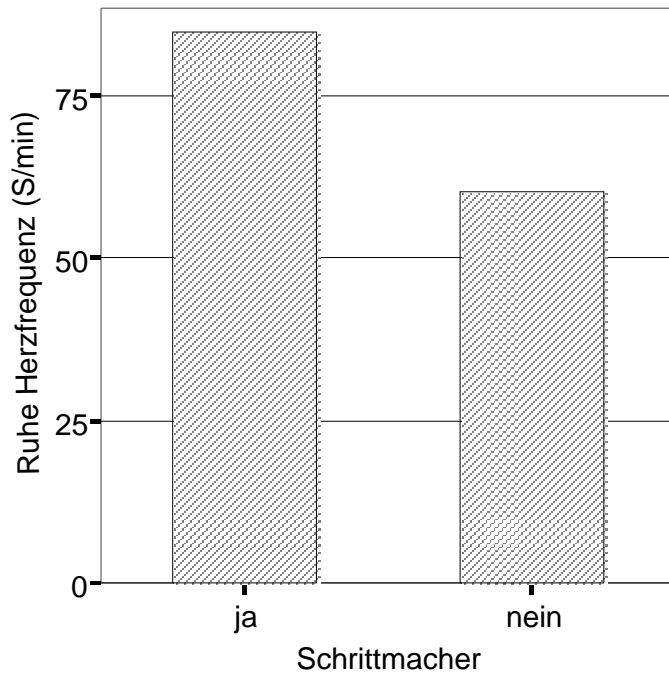


Abbildung 3.4.1: Unterschied in der Ruhe-Hf in Abhängigkeit des Tragens eines Schrittmachers innerhalb der Patientengruppe (p=0,009)

Effekt	VO ₂ an der anaeroben Schwelle	anaerobe Schwelle in % des VO _{2max} -Sollwertes
SM	n.s.	n.s.
Geschlecht	n.s.	n.s.
SM * Geschlecht	n.s.	n.s.

Tabelle 3.4.2: multivariate Varianzanalyse bezüglich des Tragens eines Herzschrittmachers unter allen Probanden der Patientengruppe, bei denen eine anaerobe Schwelle bestimmt werden konnte.

3.4.2 Herzoperation, bestehendes Vitium und chronische Myokarditis

Einige Patienten wiesen in ihrer Anamnese ein bestehendes Vitium, eine Herzoperation oder eine chronische Myokarditis auf, so dass in diesen Fällen eine Schädigung des Myokards wahrscheinlich ist. Bei den restlichen Patienten ist dagegen von einem gesunden Myokard auszugehen. Um nun herauszufinden, ob die bei einigen Patienten stattgefundenen Myokardschädigung die Untersuchungsergebnisse derselben beeinflusst, wurden die Patienten mit einem bestehenden Vitium, einer Herzoperation oder einer chronischen Myokarditis in einer Gruppe zusammengefaßt und mit den restlichen Patienten in einer multivariaten Varianzanalyse verglichen (s. Tabelle 2.1.1 und Tabelle 3.2.16 bis Tabelle 3.2.21). Für den Vergleich wurden ebenfalls nur die altersunabhängigen Messwerte (Ruhe-

Hf, max. Hf, Hf-Anstieg, VO_{2max} , VO_2 an der anaeroben Schwelle, anaerobe Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes) verwendet. Bei drei Patienten, die in ihrer Vorgeschichte eine Herzoperation, ein bestehendes Vitium bzw. eine chronische Myokarditis aufwiesen, konnte die anaerobe Schwelle nicht bestimmt werden. Bei keiner der genannten abhängigen Variablen fanden sich bezüglich der genannten Haupteffekte signifikante Unterschiede. Eine Interaktion der Haupteffekte konnte nicht nachgewiesen werden.

	Ruhe – Hf	max. Hf	Hf – Anstieg	VO_{2max}
Vitium, OP, Myokarditis	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Vitium, OP, Myokarditis * Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabelle 3.4.3: multivariate Varianzanalyse bzgl. einer stattgefundenen Operation, eines bestehenden Vitiums, einer chronischen Myokarditis und des Geschlechts innerhalb der Patientengruppe.

	VO_2 an der anaeroben Schwelle	anaerobe Schwelle in % des VO_{2max} – Sollwertes.
Vitium, OP, Myokarditis	n.s.	n.s.
Geschlecht	n.s.	n.s.
Vitium, OP, Myokarditis * Geschlecht	n.s.	n.s.

Tabelle 3.4.4: multivariate Varianzanalyse bzgl. einer stattgefundenen Operation, eines bestehenden Vitiums, einer chronischen Myokarditis und des Geschlechts unter allen Probanden der Patientengruppe, bei denen die anaerobe Schwelle bestimmt werden konnte.

3.5 Analyse der Vergleichsgruppe:

Im Folgenden sollen die Untersuchungsergebnisse der gesunden Kinder dieser Studie analysiert werden. Zu diesem Zweck wurden innerhalb des gesunden Probandenkollektivs multivariate Varianzanalysen gerechnet. Die unabhängige Variablen waren maximal erreichte Belastungsstufe, Belastungszeit, Herzfrequenz in Ruhe und unter maximaler Belastung, Herzfrequenzanstieg sowie die maximale Sauerstoffaufnahme. Altersabhängige Unterschiede ergaben sich für die abhängigen Variablen maximale Belastungsstufe, Belastungszeit und maximale Herzfrequenz.

Effekt	max. Belastungsstufe	Belastungszeit	Ruhe - Hf	max. Hf	Hf – Anstieg	VO _{2max}
Altersgruppe	0,001	0,001	n.s.	0,016	n.s.	n.s.
Geschlecht	<0,001	<0,001	n.s.	n.s.	n.s.	<0,001
Altersgruppe * Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabelle 3.5.1: multivariate Varianzanalyse der Vergleichsgruppe

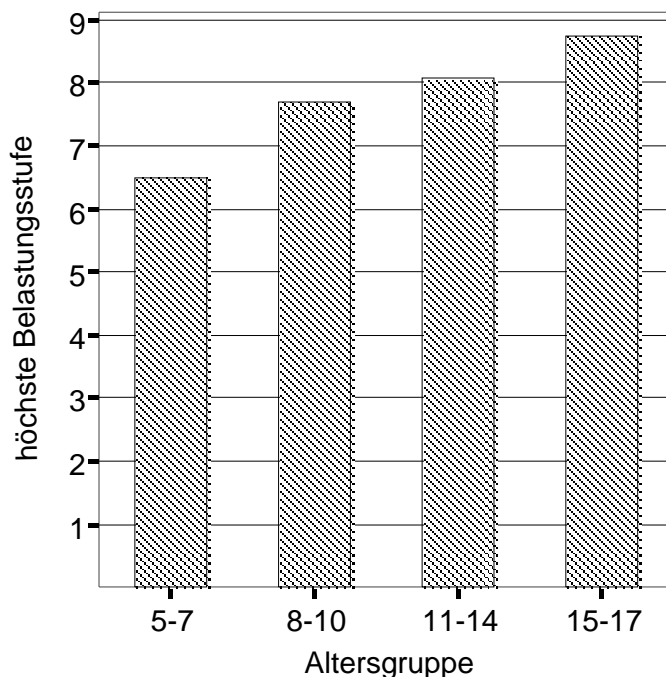


Abbildung 3.5.1: Altersabhängige Unterschiede in der max. Belastungsstufe innerhalb der Vergleichsgruppe (p=0,001)

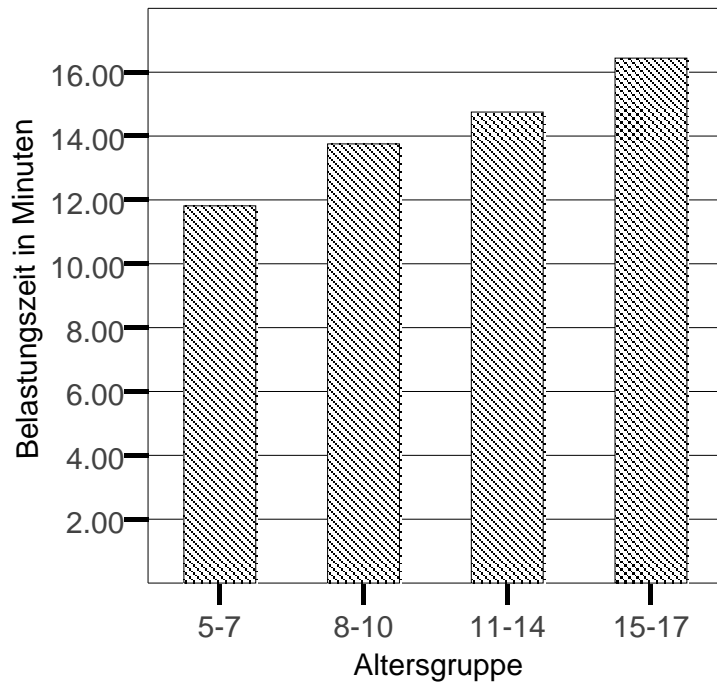


Abbildung 3.5.2: Altersabhängige Unterschiede in der Belastungszeit innerhalb der Vergleichsgruppe ($p=0,001$)

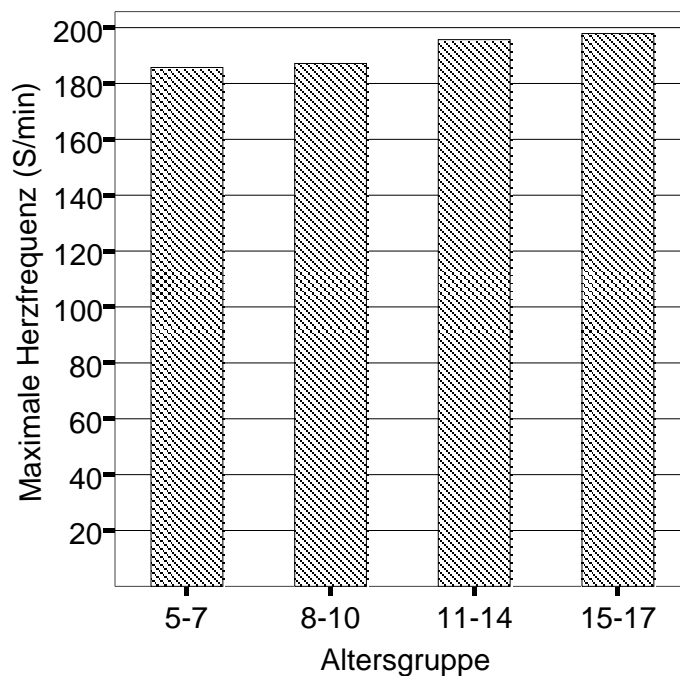


Abbildung 3.5.3: Altersabhängige Unterschiede in der max. Herzfrequenz innerhalb der Vergleichsgruppe ($p=0,016$)

Geschlechtsabhängige Unterschiede konnten für die abhängigen Variablen maximale Belastungsstufe, Belastungszeit und maximale Sauerstoffaufnahme als hochsignifikant nachgewiesen werden.

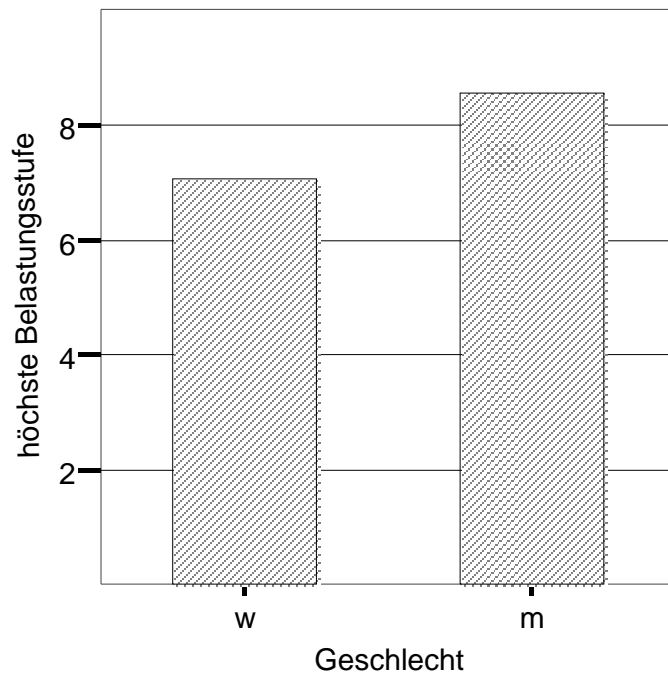


Abbildung 3.5.4: geschlechtsabhängige Unterschiede in der maximal erreichten Belastungsstufe (Mittelwerte) innerhalb der Vergleichsgruppe ($p < 0,001$).

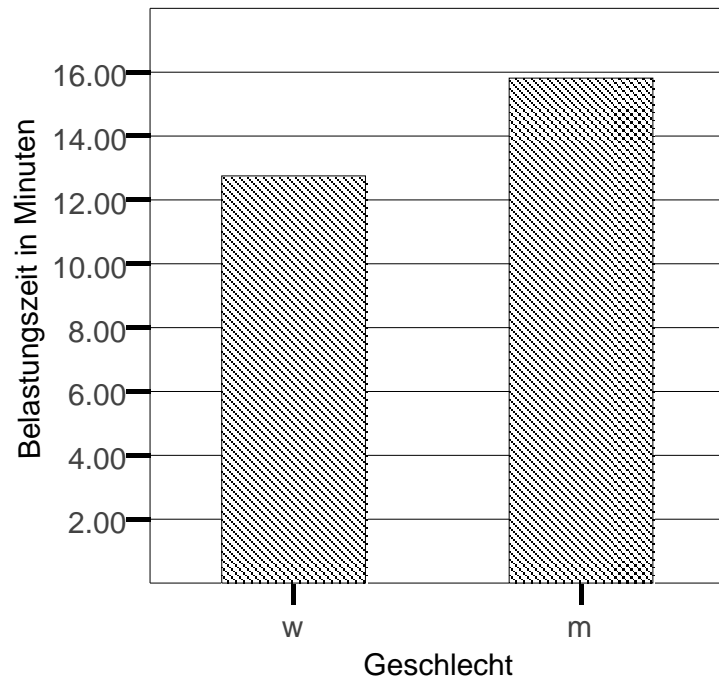


Abbildung 3.5.5: geschlechtsabhängige Unterschiede in der Belastungszeit in Minuten (Mittelwerte) innerhalb der Vergleichsgruppe ($p < 0,001$)

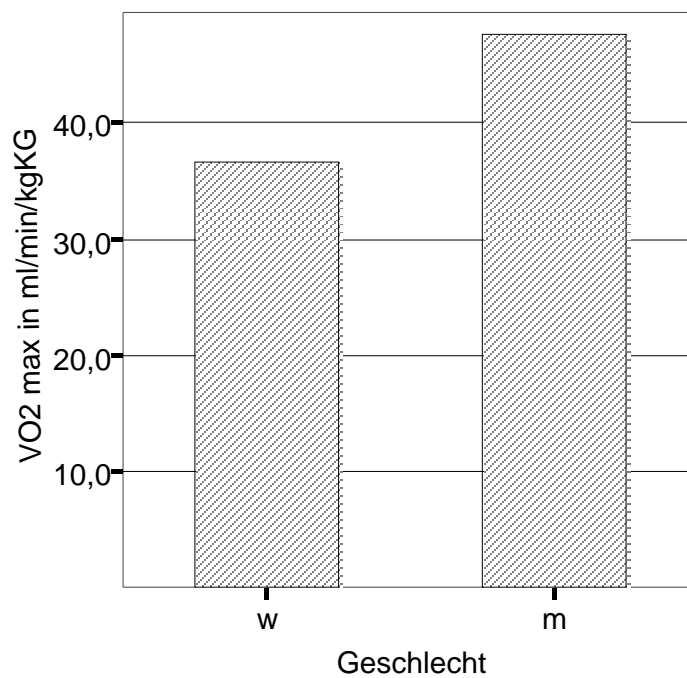


Abbildung 3.5.6: geschlechtsabhängige Unterschiede in der max. Sauerstoffaufnahme in ml/min/kg KG (Mittelwerte) innerhalb der Vergleichsgruppe ($p < 0,001$)

Eine weitere Varianzanalyse wurde für die abhängigen Variablen Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle und anaerobe Schwelle in % des Sollwertes der maximalen Sauerstoffaufnahme durchgeführt. Wie schon zuvor, so ist auch hier anzumerken, dass die anaerobe Schwelle im Vergleichskollektiv bei drei Mädchen der Altersgruppe 1 und bei einem Jungen der Gruppe 3 nicht bestimmt werden konnte. Es liessen sich bezüglich der zwei genannten abhängigen Variablen keine signifikanten, altersabhängigen Unterschiede nachweisen. Ein geschlechtsabhängiger Unterschied ergab sich bezüglich der abhängigen Variable Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle.

Effekt	VO ₂ an der anaeroben Schwelle	VO ₂ an der anaeroben Schwelle in % des VO _{2max} -Sollwertes
Altersgruppe	n.s.	n.s.
Geschlecht	0,001	n.s.
Altersgruppe * Geschlecht	n.s.	n.s.

Tabelle 3.5.2: multivariate Varianzanalyse der Vergleichsgruppe bzgl. der abhängigen Variablen „Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle“ und „anaerobe Schwelle in % des VO_{2max}-Sollwertes“.

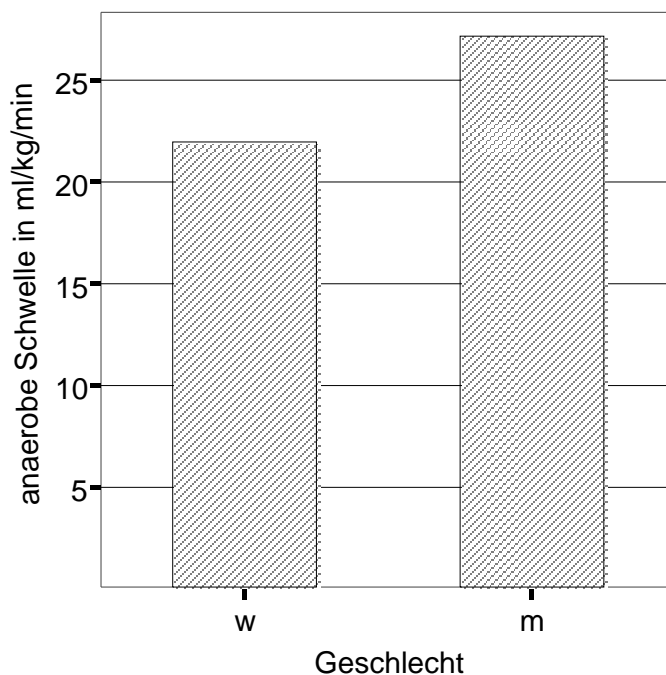


Abbildung 3.5.7: geschlechtsabhängiger Unterschied in der VO₂ an der anaeroben Schwelle in ml/min/kg KG (Mittelwerte) innerhalb der Vergleichsgruppe (p=0,001).

3.6 Abbruch der Untersuchung

3.6.1 Patienten

Von den 18 Probanden der Patientengruppe beendeten 14 Kinder die Untersuchung aufgrund von Erschöpfung. In 3 Fällen (Patienten: J.A., S.E. und K.P.) wurde im EKG bei fortgeschrittener Belastung ein Bigeminus registriert. Keiner dieser Patienten trug einen Schrittmacher. Verglichen mit der restlichen Patientengruppe lagen die Werte für die VO_{2max} , die VO_2 an der anaeroben Schwelle sowie die VO_2 an anaeroben Schwelle in Prozent des VO_{2max} -Sollwertes im unteren bis mittleren Bereich (s. Tabelle 3.2.1). 1 Proband brach die Untersuchung infolge Dyspnoe ab (Patient: T.H.). In allen Fällen konnte die vorgesehene Nachbelastung durchgeführt werden.

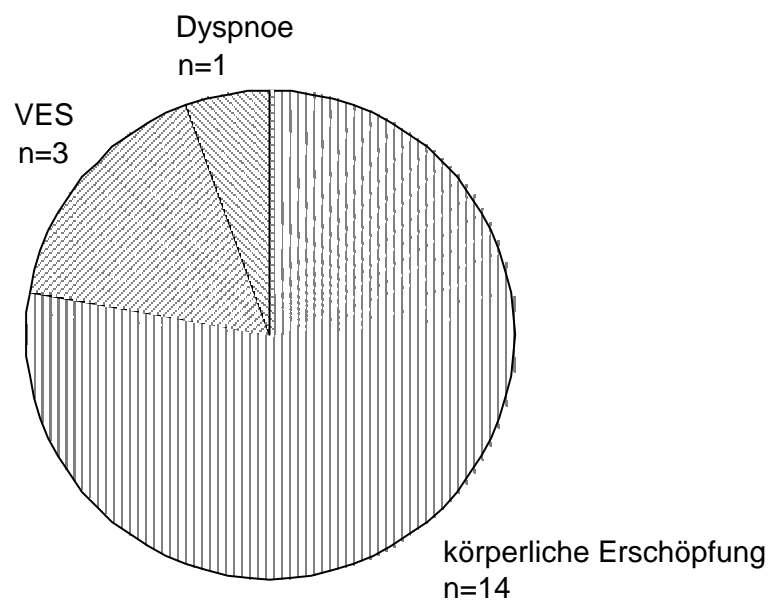


Abbildung 3.6.1: Abbruchsgründe der Patienten

3.6.2 Vergleichsprobanden

In der Vergleichsgruppe stieg bei 7 Kindern die Herzfrequenz auf über 200 Schläge pro Minute an, so dass auch hier die Belastungsphase abgebrochen wurde. In 32 Fällen wurde die Belastung aufgrund körperlicher Erschöpfung beendet. 3 Kinder durchliefen das gesamte Untersuchungsprotokoll.

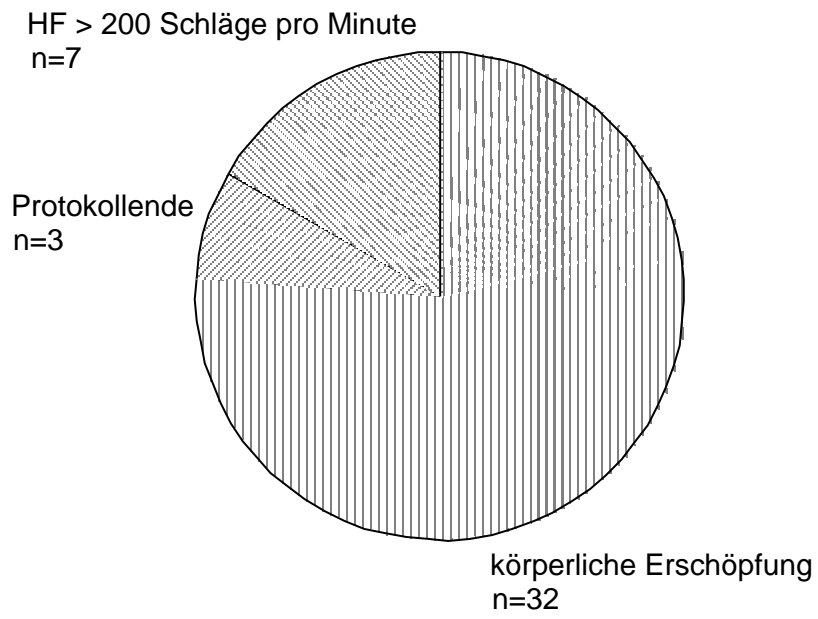


Abbildung 3.6.2: Abbruchsgründe der Vergleichsprobanden

4 Diskussion

4.1 Diskussion und Literaturvergleich der Untersuchungsergebnisse

Um eine Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern mit CAVB nachzuweisen und um zu klären, ob diese Kinder über Mechanismen verfügen, die es erlauben ein vermindertes HZV zu kompensieren, wurden 18 Kinder mit CAVB im Alter von 5 bis 17 Jahren echokardiografisch untersucht und laufbandspiroergometrisch belastet. Die Untersuchungsergebnisse wurden mit denen von 40 herzgesunden Kindern desselben Alters verglichen. Gegenüber den herzgesunden Kindern, wiesen die Kinder mit CAVB eine signifikante Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit auf, welche sich auch in einer signifikant verringerten anaeroben Schwelle widerspiegelt.

Wie sind nun die signifikant schlechteren Untersuchungsergebnisse der Kinder mit CAVB im Vergleich zu den gesunden Kindern zu erklären? Im Folgenden sollen zu dieser Frage Überlegungen angestellt und anhand von Literaturvergleichen diskutiert werden.

Die Tatsache, dass die Kinder mit CAVB hinsichtlich aller untersuchten abhängigen Variablen deutlich niedrigere Werte erreichen, als die gesunden Vergleichsprobanden, erscheint auf den ersten Blick einleuchtend. Da alle in dieser Studie untersuchten Kinder weder pulmonale noch muskuläre Erkrankungen aufwiesen, muss die beobachtete Minderung der körperlichen Leistungsfähigkeit kardial begründet sein. Wie bereits eingangs erklärt, ist das Herzzeitvolumen (HZV) das Produkt aus Schlagvolumen (SV) und Herzfrequenz (HF). Bei gesteigertem O₂-Bedarf in der peripheren Muskulatur steigt das Herzzeitvolumen an, indem zum einen die Herzfrequenz als auch das Schlagvolumen erhöht werden²⁹. Vor allem bei den präpubertären Kindern ist die Herzgröße und damit das Schlagvolumen relativ klein³⁰. Aus diesem Grund kompensieren diese Kinder bei körperlicher Belastung die Steigerung des Herzzeitvolumens vor allem über eine Erhöhung der Herzfrequenz. Bei den Kindern mit CAVB ist das Herzzeitvolumen aufgrund der verminderten Herzfrequenz gegenüber herzgesunden Kindern eingeschränkt, was die beobachtete Minderung der körperlichen Leistungsfähigkeit erklärt. Diese Überlegung wird durch Studien von Reybrouck et al. bestätigt. Er registrierte bei spiroergometrischen Untersuchungen an 8 Kindern mit CAVB im Vergleich zu gesunden Kindern eine signifikant niedrigere VO_{2max} sowie eine erniedrigte VO₂ an der anaeroben Schwelle³¹. Aus Tabelle 3.3.1 ist ersichtlich, dass Reybroucks Ergebnisse mit denen dieser Studie im wesentlichen übereinstimmen.

Im Folgenden ist nun zu überlegen, ob bei den Kindern mit CAVB nicht doch Anpassungsmechanismen existieren, die zumindest eine teilweise Kompensation des festgestellten Leistungsdefizits bewirken. Zum einen wäre es denkbar, dass diese Kinder das durch die verminderte Ventrikelfrequenz eingeschränkte HZV, durch eine Erhöhung des Schlagvolumens teilweise kompensieren können. Als langfristiger Anpassungsmechanismus

wäre eine linksventrikuläre Volumenzunahme denkbar, kurzfristig wäre eine Verbesserung des Frank-Starling-Mechanismus möglich.

Zu dieser Fragestellung durchgeführte hämodynamische Studien an Kindern mit CAVB haben gezeigt, dass unter diesen Bedingungen ein erhöhtes linksventrikuläres, enddiastolisches Volumen sowie ein effizienterer Frank-Starling-Mechanismus vorliegen³².

Thorén et al. führten an 15 Personen mit CAVB (7-24 Jahre) fahrradspiroergometrische Untersuchungen durch. Bei 10 der 15 untersuchten Probanden bestimmte Thorén die VO_{2max} und in einem Fall mass er das HZV. Er fand heraus, dass die VO_{2max} der Probanden bei deutlich erniedrigter Ventrikelfrequenz unter maximaler Belastung durchaus im Normbereich lag. Auf Grund seiner Ergebnisse schloss Thorén, dass die beim CAVB verminderte Ventrikelfrequenz durch ein gesteigertes Schlagvolumen nahezu ausreichend kompensiert wird³³. Die Frage ob die von ihm vermutete Zunahme des Schlagvolumens nun in einem verbesserten Frank-Starling-Mechanismus oder aber in einer linksventrikulären Grössenzunahme begründet ist, lässt Thorén unbeantwortet.

Zu diesem Thema führten auch Mocellin und Bastanier fahrradspiroergometrische Untersuchungen an 5 Probanden mit CAVB (8-18 Jahre) durch. Sie beobachteten, dass das durch den CAVB bedingte Defizit in der Steigerung der Ventrikelfrequenz unter Belastung v.a. über eine Erhöhung des ventrikulären Schlagvolumens ausgeglichen wird. Wie sie in 3 von 5 Fällen feststellten, war diese Kompensation nicht ausreichend³⁴.

Wenn man die Ergebnisse von Thoréns Studie betrachtet, so könnte die Tatsache, dass seine Ergebnisse deutlich von denen dieser Studie abweichen zum Einen in der unterschiedlichen Zusammensetzung des Patientenkollektives und zum Anderen in der unterschiedlichen Bestimmungsmethode der Sauerstoffventilation (Thorén benutzte die „Douglas Beutel Technik“) begründet sein. Hinsichtlich der Aussagekraft von Mocellins Studie ist in jedem Fall die geringe Anzahl von 5 Probanden über ein relativ weites Altersspektrum zu beachten.

In der hiesigen Studie lag die linksventrikuläre Grösse bei 14 der 18 Probanden aus der Patientengruppe im Normbereich, was gegen eine signifikante Erhöhung des linksventrikulären, enddiastolischen Volumens spricht (s. Tabelle 3.1.1).

Da die Kinder mit CAVB aufgrund ihres verminderten Herzzeitvolumens wesentlich früher mit der anaeroben Energiegewinnung beginnen müssen, wäre eine Adaptation des anaeroben Metabolismus an die durch das verminderte HZV bedingte Sauerstoffunterversorgung im peripheren Skelettmuskel als weiterer Kompensationsmechanismus möglich. Zu dieser Frage findet man in der Literatur zwei Studien: Zum einen untersuchten Taylor und Godfrey auf einem Fahrradspiroergometer 4 Probanden mit CAVB (9-23 Jahre). Sie stellten fest, dass trotz einem erhöhten, linksventrikulären Schlagvolumen das HZV bei allen Probanden vermindert war und somit das Defizit in der Steigerung der ventrikulären Frequenz nur unzureichend kompensiert wurde. Es erreichten jedoch 2 der 4 Probanden durchaus normale Belastungsbereiche. Taylor und Godfrey vermuteten, dass bei Personen mit CAVB

nicht das verminderte HZV der die körperliche Leistungsfähigkeit limitierende Faktor sei, sondern der Sauerstoffgehalt im Blut. Dieser könne von den Probanden je nach Trainingsgrad, besser oder schlechter ausgeschöpft werden. Sie schlußfolgerten also, dass Patienten mit CAVB und annähernd normaler kardiovaskulärer Leistungsfähigkeit extrem niedrige Sauerstoffwerte im gemischtvenösen Blut tolerieren können³⁵. Im Widerspruch dazu stehen Untersuchungen von Eriksson et. al.: Sie untersuchten das anaerobe Stoffwechselsystem bei Kindern im Alter von 11 bis 13 Jahren und stellten fest, dass die kindliche Skelettmuskulatur im Vergleich zu der eines Erwachsenen niedrigere Konzentrationen an anaeroben Schlüsselenzymen aufweist³⁶. Bei Taylor und Godfrey ist die Studie hinsichtlich ihrer Aussagekraft kritisch zu betrachten, da auch hier die Probandenanzahl sehr gering war.

Aus den durchgeführten Überlegungen und Literaturvergleichen kann man schliessen, dass als Kompensationsmechanismus für das in dieser Studie festgestellte körperliche Leistungsdefizit bei Kindern mit CAVB am ehesten eine Effizienzsteigerung des Frank-Starling-Mechanismus und nur in Einzelfällen eine Zunahme des linksventrikulären, enddiastolischen Volumens vorliegt. Eine Adaptation des kindlichen, anaeroben Stoffwechsels an die Sauerstoffunterversorgung im peripheren Skelettmuskel ist unwahrscheinlich. In jedem Fall ist diese Kompensation unzureichend.

Die während der Untersuchung im oberen Belastungsbereich aufgetretenen ventrikulären Ektopien bei 3 Probanden aus der Patientengruppe, welche zum Untersuchungsabbruch führten, wurden in der Literatur mehrfach beschrieben^{31,33,35,37,38}. Bezüglich aller untersuchten abhängigen Variablen lagen die Ergebnisse dieser Patienten durchaus im unteren bis mittleren Bereich der restlichen Patientengruppe (s. Tabelle 3.2.1). In Reybroucks Studie hingegen, in der bei 2 von 8 Patienten mit CAVB ventrikuläre Ektopien auftraten, wiesen diese die niedrigste kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit auf. Ein Grund für diese Abweichung könnte die geringere Anzahl untersuchter Probanden in Reybroucks Studie sein.

Im Folgenden sollen die oben bereits erläuterten alters- und geschlechtsabhängigen Unterschiede betrachtet werden:

In dieser Studie läßt sich mit zunehmendem Alter ein kontinuierlichen Anstieg in der maximal erreichten Belastungsstufe und der damit eng verknüpften Belastungszeit feststellen. Der altersabhängige Anstieg dieser beiden Parameter erscheint plausibel, da die Kinder mit zunehmender Alter mehr Muskulatur aufbauen. Diese Beobachtung wird durch die laufbandergometrische Untersuchungen von Cumming et. al. an 327 gesunden Kindern nach einem Bruce-Protokoll bestätigt³⁹. Er stellte bei den Jungen einen kontinuierlichen Anstieg der Belastungszeit bis hin zu einem Alter von 18 Jahren fest. Bei den Mädchen fand er ebenfalls einen kontinuierlichen Anstieg in der Belastungszeit, jedoch nur bis zu einem Alter von ca. 13 Jahren. Von 13 – 18 Jahren nahm dann die Belastungszeit wieder ab. Bei

Cumming trat also neben einem altersabhängigen noch ein geschlechtsabhängiger Unterschied in der Belastungszeit auf, der auch in dieser Studie festgestellt wurde.

Weitere in dieser Studie festgestellte, geschlechtsabhängige Unterschiede in der maximalen Sauerstoffaufnahme und der Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle werden in Untersuchungen von Reybrouck et al. an 257 gesunden Kindern bestätigt⁴⁰. Allerdings fanden sich in Reybroucks Studie ebenfalls altersabhängige Unterschiede bezüglich der VO_{2max} , der VO_2 an der anaeroben Schwelle sowie der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max} – Sollwertes, die in dieser Studie nicht nachgewiesen werden konnten.

Im Gegensatz dazu beobachtete Cumming in der oben erwähnten Studie, dass im gesamten Probandenkollektiv die VO_2 unter maximaler Belastung mit zunehmendem Alter zuerst abnahm, um dann bei weiterer Alterszunahme wieder anzusteigen (s. Anhang A, Tabelle 7.1.1). Nach Cumming ist die VO_2 -Messung stark von der Kooperation der Probanden abhängig. Die fehlende Altersabhängigkeit der in dieser Studie festgestellten VO_{2max} -Werte wird nicht durch die Miteinbeziehung der Probanden mit CAVB in den Vergleich verursacht, da auch in der Analyse aller gesunden Probanden untereinander kein altersabhängiger Unterschied in der VO_{2max} festgestellt werden konnte (s. Tabelle 3.5.1). Eine mögliche Erklärung für diese Tatsache könnte in einem mit dem Alter zunehmendem Unterschied in der Bereitschaft zwischen Mädchen und Jungen liegen, sich bis an die maximale körperliche Belastungsgrenze heran zu tasten.

Wie oben bereits erwähnt, so fand sich in der VO_2 an der anaeroben Schwelle ein geschlechtsabhängiger Unterschied. Die Werte der männlichen Probanden lagen deutlich über denen des weiblichen Kollektivs. Auch dieses Ergebnis findet sich in der Studie von Reybrouck bestätigt. Diese Beobachtung erscheint vor dem Hintergrund, dass die männlichen Probanden eine höhere Belastungsstufe im Protokoll, eine längere Belastungszeit sowie eine höhere VO_{2max} erreichten plausibel und könnte ebenfalls in einer verminderten Bereitschaft zur maximalen Belastung bei den weiblichen Probanden begründet sein.

Im Folgenden sollen nur die Ergebnisse der gesunden Vergleichsgruppe mit der Literatur verglichen und diskutiert werden:

Beim ersten Blick auf Tabelle 3.5.1 und Tabelle 3.5.2 fällt auf, dass hier mit Ausnahme der maximal erreichten Herzfrequenz bei genau den gleichen abhängigen Variablen alters- und geschlechtsabhängige Unterschiede zu finden sind wie in der Analyse aller Probanden. Die geschlechtsabhängigen Unterschiede in der max. Belastungsstufe, der Belastungszeit, der VO_{2max} und der VO_2 an der anaeroben Schwelle, sowie die altersabhängigen Einflüsse bezüglich max. Belastungsstufe und Belastungszeit wurden bereits anhand der Analyse aller Probanden erläutert und mit der Literatur verglichen.

Zusätzlich bestand ein altersabhängiger Unterschied in der maximal erreichten Herzfrequenz. In der vorliegenden Studie steigt die mittlere, maximal erreichte Herzfrequenz

mit zunehmendem Alter an. Diese Beobachtung steht im Widerspruch von Washington et. al.: Er beschreibt, dass die maximale Herzfrequenz unter Belastung mit zunehmendem Alter vor allem nach der Pubertät sinkt. Gleichzeitig erwähnt er aber auch, dass die Herzfrequenz unter Belastung von vielen Faktoren wie z.B. Belastungsart, körperlicher Trainings- und Gesundheitszustand und Umweltbedingungen (Hitze, Kälte oder Luftfeuchtigkeit) abhängt. Ferner zeigt Cummings Studie an 327 gesunden Kindern weder einen alters- noch einen geschlechtsabhängigen Unterschied in der maximal erreichten Herzfrequenz über alle Altersgruppen hinweg. Letzteres steht in Einklang mit den Ergebnissen dieser Studie, da auch hier weder in der Analyse aller Probanden noch in der Analyse des Vergleichskollektivs ein geschlechtsabhängiger Unterschied in der maximal erreichten Herzfrequenz festzustellen war. Eine in dieser Studie festgestellte Altersabhängigkeit der maximalen Herzfrequenz unter Belastung in der Vergleichsgruppe steht also nicht unbedingt im Widerspruch zu den Literaturwerten.

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, inwieweit die gemessenen Werte mit den in der Literatur beschriebenen Normwerten übereinstimmen. Da jede der zum Vergleich herangezogenen Studien die Probanden nach anderen Kriterien gruppiert hat und die Messmethoden teilweise differierten, ist ein statistischer Vergleich schwierig bis unmöglich. Die Messwerte der einzelnen Studien werden daher nur grob mit denen dieser Untersuchung verglichen.

Zunächst wäre da die bereits erwähnte Studie von Reybrouck et. al., in der 257 gesunde Kinder laufbandspiroergometrisch untersucht wurden. Die Werte für die VO_{2max} in Reybroucks Studie liegen bei den weiblichen Probanden etwas unter, bei den männlichen Probanden etwas über den Messwerten dieser Studie (Vergl. Tabelle 3.2.7 u. Tabelle 7.2.1, Anhang A). Bei der VO_2 an der anaeroben Schwelle (VAT) weisen die Probanden in Reybroucks Untersuchung verglichen mit denen der hiesigen Studie bei beiden Geschlechtern etwas höhere Werte auf (Vergl. Tabelle 3.2.8 u. Tabelle 7.2.1, Anhang A). Bezüglich des in der erwähnten Studie erhobenen Parameters VAT in % der VO_{2max} ist anzumerken, dass bei Reybrouck die VO_2 der anaeroben Schwelle in Relation zur gemessenen maximalen Sauerstoffaufnahme gesetzt wurde und nicht wie in dieser Studie in Relation zum VO_{2max} -Sollwert.

Eine weitere Studie, in der gesunde Kinder spiroergometrisch untersucht wurden ist die von Mahon et. al.⁴¹. Es wurden 16 Kinder (davon 13 Jungen) mit einem mittleren Alter von 10,9 Jahren auf einem Fahrrad untersucht. Die Ergebnisse von Mahon sind im Anhang A in Tabelle 7.3.1 den Messwerten dieser Studie gegenüber gestellt. Um den Vergleich zu ermöglichen wurden der Mittelwert und Standardabweichung aller männlichen Probanden der Vergleichsgruppe (mittleres Alter = 11 Jahre) für die Parameter maximale Herzfrequenz, VO_{2max} und VO_2 an der anaeroben Schwelle berechnet. Die Ergebnisse von Mahon stimmen bezüglich der unter Belastung registrierten maximalen Herzfrequenz und der VO_{2max} mit den

Messwerten dieser Studie praktisch überein. Die von Mahon beobachtete VO_2 an der anaeroben Schwelle liegt etwas über dem in dieser Studie beobachteten Wert.

Desweiteren führten Washington et. al. fahrradspiroergometrische Untersuchungen an 151 Kindern im Alter von 7,5 bis 12,75 Jahren durch⁴². Problematisch in der Gegenüberstellung ist, dass Washington seine Probanden nach Geschlecht und Körperoberfläche aufgeteilt hat, so dass es hier sinnvoll ist, die Altersgruppen 1-3 dieser Studie zusammen zu fassen. Wie im Anhang A in Tabelle 7.4.1 zu sehen ist, liegt die in dieser Studie gemessene VO_{2max} der männlichen Probanden nur leicht unter den Werten von Washingtons Untersuchung. Bei der VO_{2max} weisen die weiblichen Probanden aus Washingtons Studie im Vergleich zu der hiesigen Studie höhere Werte auf. Gleiches gilt für die VO_2 an der anaeroben Schwelle bei den Mädchen und Jungen. Sie erreichten in Washingtons Studie höhere Werte als die Probanden der vorliegenden Untersuchung (s. Anhang A, Tabelle 7.4.1).

In den oben dargestellten Vergleichen konnte gezeigt werden, dass die Untersuchungsergebnisse der Vergleichsprobanden dieser Studie mit den Angaben in der Literatur weitgehend übereinstimmen.

4.2 Diskussion von Einflussgrößen innerhalb der Patientengruppe:

Eingangs ist zu klären, ob die oben beschriebenen signifikanten Unterschiede durch unbesetzte Altersgruppen im Patientenkollektiv beeinflusst werden. Die in den Tabellen 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 und 3.3.4 dargestellten Vergleiche zeigen, dass die unbesetzten Altersgruppen in der Patientengruppe die festgestellten signifikanten Unterschiede nur unwesentlich beeinflussen und somit vernachlässigbar sind.

Im Folgenden wird untersucht, ob die Ergebnisse der Patientengruppe dadurch beeinflusst wurden, dass ein Teil der Patienten schrittmacherimplantiert war, ein bestehendes Vitium besaß, am Herzen operiert wurde oder aber an einer chronischen Myokarditis litt.

4.2.1 Herzschrittmacher

Es soll geklärt werden, ob die vorliegenden Untersuchungsergebnisse durch die Tatsache beeinflusst wurden, dass 11 der 18 Kinder mit CAVB einen Herzschrittmacher trugen (s. Tabelle 2.1.1). Dazu wurden die Untersuchungsergebnisse der Patienten ohne Herzschrittmacher mit denen der schrittmacherimplantierten verglichen. Die Tatsache, dass die Ruhe-Hf bei den Patienten mit Herzschrittmacher deutlich über der der Patienten ohne Herzschrittmacher lag ist einleuchtend. Bezüglich der maximalen Herzfrequenz, des absoluten Herzfrequenzanstieges, der VO_{2max} , der VO_2 an der anaeroben Schwelle und der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes wurden weder schrittmacher- noch geschlechtsabhängige Unterschiede gefunden. Aus den durchgeführten Vergleichen ist zu schliessen, dass die Untersuchungsergebnisse der Patientengruppe, mit Ausnahme der Herzfrequenz in Ruhe, nicht bzw. nur unwesentlich durch das Tragen eines Herzschrittmachers beeinflusst wurden.

Interessant ist die Überlegung, ob sich aus dieser Beobachtung Konsequenzen für die Indikation zur Herzschrittmacherimplantation bei asymptomatischen Kindern mit kompletten AV-Block ergeben:

In der Literatur wird die Indikation zur Implantation eines Herzschrittmachers breit gestellt: So gibt Smith unter anderem an, dass eine zwingende Indikation bei CAVB mit symptomatischer Bradykardie, mit symptomatischer Belastungsintoleranz, mit medikamentöser Therapieresistenz, bei asymptomatischen Neugeborenen mit Ventrikelfrequenzen unter 55 Schlägen pro Minute, bei asymptomatischen Kindern mit Ventrikelfrequenzen unter 45 Schlägen pro Minute, bei asymptomatischen Kindern infolge Herzoperation sowie bei Kindern mit zusätzlich bestehenden, komplexen, ventrikulären Arrhythmien gegeben ist. Die American Heart Association (AHA) stellt die Indikation zur Schrittmacherimplantation ähnlich: Sie stellt diese zweifelsfrei bei symptomatischem CAVB, beim länger, als eine Woche andauernden, postoperativen CAVB sowie beim kongenitalen CAVB mit breitem QRS-Komplex oder komplexer ventrikulärer Ektopie. Die AHA sieht es als möglicherweise nützlich an, beim kongenitalen CAVB nach dem ersten Lebensjahr und einer

Herzfrequenz von unter 50 Schlägen pro Minute oder abrupten Pausen (2- bis 3-fache Länge einer normalen Herzaktion) oder Auftreten klinischer Beschwerden, einen Schrittmacher zu implantieren. Beim asymptomatischen kongenitalen CAVB oder beim CAVB einhergehend mit neuromuskulären Erkrankungen stellt die AHA die Schrittmacherindikation sehr weit. Beim vorübergehenden postoperativen CAVB rät die AHA von einer Schrittmacherimplantation ab⁴³. Andere Autoren beschränken sich lediglich auf das Auftreten von klinischen Beschwerden bei CAVB⁴⁴.

Alle Kinder mit CAVB erreichten der normalen Freizeitaktivität vergleichbare Belastungsniveaus, obwohl objektiv eine signifikante Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit im Vergleich zu herzgesunden Kindern nachgewiesen wurde. Da die Kinder der Patientengruppe mit Herzschrittmacher sich nicht in ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit von den Kindern der Patientengruppe ohne Herzschrittmacher unterscheiden, sind die zwingenden Indikationen zur Schrittmacherimplantation individuell zu diskutieren, solange die Kinder asymptomatisch sind.

4.2.2 bestehendes Vitium, Herz-OP, chronische Myokarditis

Desweiteren wurde untersucht, ob die vorliegenden Untersuchungsergebnisse durch die Tatsache beeinflusst wurden, dass 8 der 18 Patienten entweder in ihrer Anamnese eine Herz-OP, ein bestehendes Vitium oder eine chronische Myokarditis hatten (s. Tabelle 2.1.1). Es wurden daher die Untersuchungsergebnisse der Patienten, welche ein bestehendes Vitium, eine Herz-OP bzw. eine chronische Myokarditis hatten, mit denen der restlichen Patienten verglichen. Zwischen den Patienten mit einem Vitium, einer Herz-OP bzw. einer chronischen Myokarditis und den übrigen Patienten bestand in keiner der untersuchten abhängigen Variablen (Ruhe-Hf, max. Hf, absoluter Hf-Anstieg, VO_{2max} , VO_2 an der anaeroben Schwelle, anaerobe Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes) ein signifikanter Unterschied. Daraus ist zu schliessen, dass die Untersuchungsergebnisse der Patientengruppe von der Tatsache, dass bei 8 Probanden ein Vitium, eine Herz-OP bzw. eine chronische Myokarditis bestand, unbeeinflusst blieben.

5 Schlussfolgerungen

Das in der vorliegenden Untersuchung festgestellte Defizit in der körperlichen Leistungsfähigkeit bei den Kindern mit CAVB ist in einem verminderten HZV begründet, welchem wiederum eine inadäquate Herzfrequenzsteigerung zu Grunde liegt. Als mögliche Kompensationsmechanismen für diese Leistungseinschränkung kommen eine linksventrikuläre Grössenzunahme, ein effizienterer Frank-Starling-Mechanismus sowie eine Adaptation des kindlichen Stoffwechsels an anaerobe Bedingungen in Frage. Eine Zunahme des linksventrikulären enddiastolischen Volumens konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. In dieser Studie wurden die Enzyme des anaeroben Stoffwechsels nicht untersucht, jedoch gibt die Literatur Hinweise darauf, dass die Konzentration anaerober Schlüsselenzyme im kindlichen Stoffwechsel vermindert ist. Daher ist eine Adaptation des kindlichen Stoffwechsels an anaerobe Bedingungen unwahrscheinlich. Als Kompensationsmechanismus kommt somit am ehesten eine Verbesserung des Frank-Starling-Mechanismus in Frage, welche auf Grund der vorliegenden Ergebnisse allenfalls unzureichend ist.

Alle Kinder der Patientengruppe erreichten in dieser Studie Belastungsniveaus, die durchaus mit einer normalen Freizeitaktivität vergleichbar sind. Bei drei Kindern mit CAVB traten im höheren Belastungsbereich ventrikuläre Ektopien auf. Alle drei Kinder hatten keinen Herzschrittmacher. Daher sollten bei Kindern mit CAVB maximale körperliche Anstrengungen (z.B. Wettkampfsport) gemieden bzw. bei Auftreten ventrikulärer Ektopien eine Herzschrittmacherimplantation in Erwägung gezogen werden.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden 18 Kinder mit CAVB auf einem Laufband spiroergometrisch, nach einem modifizierten Bruce-Protokoll, untersucht und mit 42 herzgesunden Kindern nach Alter und Geschlecht getrennt verglichen. Es wurden die maximal erreichte Belastungsstufe, die Belastungsdauer, die Herzfrequenz in Ruhe und unter maximaler Belastung, der absolute Herzfrequenzanstieg, die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), die Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle sowie die Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes erfasst.

Die Untersuchungen ergaben, dass die Kinder mit CAVB hinsichtlich der maximal erreichten Belastungsstufe ($p < 0,001$), der Belastungsdauer ($p < 0,001$), der maximal erreichten Herzfrequenz ($p < 0,001$), des absoluten Herzfrequenzanstieges ($p < 0,001$) der VO_{2max} ($p < 0,001$), der Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle ($p < 0,001$) sowie der Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes ($p = 0,001$) signifikant niedrigere Werte als die gesunden Kinder aufwiesen. Desweiteren stiegen die maximal erreichte Belastungsstufe ($p = 0,006$) sowie die Belastungsdauer ($p = 0,002$) bei allen Probanden mit zunehmendem Alter an. Ausserdem wurden beim Vergleich aller Probanden geschlechtsspezifische Unterschiede gefunden: So lagen die Werte für die maximal erreichte Belastungsstufe ($p = 0,005$), die Belastungsdauer ($p = 0,004$), die VO_{2max} ($p = 0,001$) und die VO_2 an der anaeroben Schwelle ($p = 0,017$) bei den Mädchen deutlich unter den Werten der Jungen. Innerhalb der Patientengruppe existierten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der körperlichen Leistungsfähigkeit zwischen den Kindern mit und ohne Herzschrittmacher, sowie zwischen den Kinder die eine Herzoperation, ein bestehendes Vitium oder eine chronische Myokarditis in der Anamnese aufwiesen und denen, die über keine der genannten anamnestischen Daten verfügten.

Das körperliche Leistungsdefizit der Kinder mit CAVB ist in einem eingeschränkten Herzzeitvolumen begründet, welchem ein mangelnden Anstieg der Herzfrequenz bei Belastung zugrunde liegt. Es wurden keine Anhaltspunkte gefunden, dass diese Kinder das beobachtete Leistungsdefizit generell durch eine Erhöhung des linksventrikulären enddiastolischen Volumens ausgleichen können, da dieses nur bei 4 der 18 Kinder mit CAVB über den Normwerten lag. Als denkbarer Kompensationsmechanismus kommt lediglich eine Effizienzsteigerung des Frank-Starling-Mechanismus in Frage, die das körperliche Leistungsdefizit jedoch nur unzureichend ausgleicht.

7 Anhang A: tabellarische Übersichten über die Ergebnisse wichtiger Vergleichsstudien:

7.1 Cumming G.R., Dayle E., Laverne H.: Bruce Treadmill Test in Children: Normal Values In a Clinic Population. Am J Cardiol 1978; 41 : 69-75

	Age Group (yr)			
	7 (no.=4)	9-10 (no.=11)	11-12 (no.=12)	13-14 (no.=11)
Stage 1	20.2 ± 2.2	18.6 ± 2.1	18.1 ± 2.5	18.2 ± 1.5
Stage 2	26.4 ± 2.5	25.5 ± 2.9	24.3 ± 2.4	25.9 ± 2.9
Stage 3	40.2 ± 0.4	36.5 ± 5.3	35.2 ± 3.2	37.7 ± 3.5

Tabelle 7.1.1: Oxygen Uptake During the 3rd Minute of the Bruce Treadmill Test Stages 1 to 3 (in ml/kg per min [mean ± standard deviation])

7.2 Reybrouck T., Weymans M., Stijns H., v.d. Hauwaert L.: Ventilatory anaerobic threshold in healthy children – Age and sex differences. Eur J Appl Physiol 1985; 54 : 278-84

Age (range)	female			male		
	VO _{2max} (ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹)	VAT (ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹)	VAT (% VO _{2max})	VO _{2max} (ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹)	VAT (ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹)	VAT (% VO _{2max})
5 – 6	42,6 ± 4,8	29,4 ± 3,4	69,2 ± 6,2	44,0 ± 3,2	32,3 ± 4,7	74,4 ± 6
7 – 8	42,5 ± 5,4	26,5 ± 4,6	60,7 ± 8,7	50,9 ± 5,4	31,6 ± 4,7	62,2 ± 11,5
9 – 10	42,2 ± 4,9	27,1 ± 4,1	62,2 ± 5,4	50,6 ± 4,6	34,8 ± 6,6	67,6 ± 12,0
11 – 12	40,3 ± 5,3	28,4 ± 4,5	67,8 ± 5,3	51,5 ± 6,4	32,3 ± 6,4	66,2 ± 10,3
13 – 14	40,0 ± 6,2	24,3 ± 3,0	62,5 ± 10,2	52,4 ± 3,3	29,1 ± 4,4	57,9 ± 7,9
15 – 16	43,7 ± 3,3	24,4 ± 3,3	53,8 ± 6,3	56,6 ± 1,4	30,3 ± 7,9	61,0 ± 10,3
17 – 18	-	-	-	53,3 ± 6,4	26,5 ± 4,7	50,5 ± 7,5

Tabelle 7.2.1: Maximal oxygen uptake (VO_{2max}/kg), ventilatory anaerobic threshold (VAT) and ventilatory threshold expressed as a percent of VO_{2max} (VAT%VO_{2max}) in children subdivided in age groups

7.3 Mahon A., Gay J., Stolen K.: Differentiated ratings of perceived exertion at ventilatory threshold in children and adults. Eur J Appl Physiol 1998; 18 : 115-20

	Mahon et. al.	HHU Düsseldorf*
max. HF (S/min)	196,1 ± 9,7	193,8 ± 8
VO _{2max} (ml/min/kgKG)	47,1 ± 6,1	47,7 ± 8,2
VO ₂ an der anaeroben Schwelle (ml/min/kgKG)	30,4 ± 4,4	27,3 ± 4,9**

Tabelle 7.3.1: Gegenüberstellung der max. HF, der VO_{2max} und der VO₂ an der anaeroben Schwelle von Mahons Untersuchung und den Messwerten dieser Studie

* dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichung aller männlichen Probanden der Vergleichsgruppe

** in einem Fall konnte die anaerobe Schwelle nicht bestimmt werden

7.4 Washington R., van Gundy J., Cohen C., Sondheimer H., Wolfe R.: Normal aerobic and anaerobic exercise data for North American school-age children. The Journal of Paediatrics 1988; 112(2) : 223-33

		Washington et. al.			HHU Düsseldorf
		I	II	III	Altersgruppen 1-3*
VO _{2max} (ml/min/kgKG)	m	47 ± 6	46 ± 5	47 ± 10	45,9 ± 6,8
	w	42 ± 5	43 ± 7	41 ± 6	36,5 ± 4,8
VO ₂ an der anaeroben Schwelle (ml/min/kgKG)	m	35 ± 7	33 ± 5	35 ± 8	26,8 ± 5,1**
	w	30 ± 4	30 ± 5	30 ± 5	21,8 ± 2,6**

Tabelle 7.4.1: Gegenüberstellung der VO_{2max} und der VO₂ an der anaeroben Schwelle von Washingtons Untersuchung und den Messwerten dieser Studie

* dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichung der Altersgruppen 1-3 der Vergleichsgruppe

** die anaerobe Schwelle konnte bei 1 Jungen und 3 Mädchen der Altersgruppen 1-3 nicht bestimmt werden

LITERATUR:

- ¹ Morquio L.: Sur une maladie infantile et familiale caractéristique et la mort subite. Arch Med Enfants 1901; 4 : 467-75
- ² Michaelson M., Engle M.A.: Congenital complete heart block: An international study of the natural history. Cardiovascular Clinics 1972; Philadelphia FA Davis, 85-101
- ³ Mc Cue C., Matakas M., Tiglestad J., Ruddy S.: Congenital heart block in newborns of mothers with connective tissue disease. Circulation 1977; 56 : 82-90
- ⁴ Manthorpe T., Manthorpe R.: Congenital complete heart block in children of mothers with primary Sjögren's syndrome. Lancet 1992; 340: 1359-60
- ⁵ Lev M.: Pathogenesis of congenital atrioventricular block. Prog Cardiovasc Dis 1972; 25(2) : 145-62
- ⁶ Lev M., Silverman J., Fitzmaurice F.M., Paul M.H., Cassels D.E., Miller R.A.: Lack of connection between the atria and the more peripheral conduction system in congenital atrioventricular block. Am J Cardiol 1971; 27 : 481-90
- ⁷ Weindling S., Saul P., Walter J.: Duration of complete atrioventricular block after congenital heart disease surgery. The Am J Cardiol 1998; 82 : 525-27
- ⁸ Gildein H.P., Gunther S., Mocellin R.: Complete heart block in a 9 year old girl caused by borreliosis. Br. Heart J 1993; 70(1) : 88-90
- ⁹ Bartmaz G., Villain E., Bonnet D., Iserin L., Fraisse A., Kachaner J.: Therapy and prognosis of infectious complete atrioventricular block in children. Arch Mal Coeur Vaiss 2000; 93(5) : 553-7
- ¹⁰ Montano A., Esposito M.: Complete atrioventricular block and acute abdominal pain: initial symptoms in a case of rheumatic fever. Minerva Cardioangiol 1990; 38(3) : 101-3
- ¹¹ Chow L., Cook A., Leung M., Anderson R.: Isolated congenitally complete heart block attributable to combined nodoventricular and intraventricular discontinuity. Human Pathology 1998; 29 : 729-36
- ¹² Ross B., Pinsky W., Driscoll D.: Complete atrioventricular block. Pediatric Arrhythmias: Electrophysiology and Pacing; WB. Saunders Company 1990; 306-16
- ¹³ Winkler R.B., Freed M.D., Nadas A.S.: Exercise induced ventricular ectopy in children and young adults with complete heart block. Am Heart J 1980; 99 : 87-92
- ¹⁴ Chawla K., Serrato M., Cruz J.: Response to maximal and submaximal exercise testing in patients with congenital complete heart block. Circulation 1979; 56(suppl III) : 171
- ¹⁵ Smith R.T.jr.: Pacemakers for children. Electrophysiology and Pacing; WB Saunders Company 1990; 532-58
- ¹⁶ Hollmann W., Prinz P.: Zur Geschichte und klinischen Bedeutung der kardiopulmonalen Arbeitsuntersuchung unter besonderer Berücksichtigung der Spiroergometrie. Z Kardiol 1994; 83 : 247-57
- ¹⁷ Breuer H.W.: Spiroergometrie – Indikationen, Methodik, Relevanz. Dt Med Wochenschr 1997; 122 : 447-49
- ¹⁸ Rost R.: Leistungsfähigkeit und Trainierbarkeit des Herz-Kreislaufsystems im Kindes- und Jugendalter: Monatsschrift Kinderheilkunde 1998; 146 : 702-11

-
- ¹⁹ Wasserman K.: Coupling of external to internal respiration. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129 : Suppl. : 21-24
- ²⁰ Wasserman K., Whipp B.J.: Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis* 1975; 112 : 219-49
- ²¹ Stone H.L., Liang I.Y.S.: Cardiovascular response and control during exercise. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129 : Suppl. : 13-16
- ²² Katz A., Sahlin K.: Regulation of lactic acid production during exercise. *J Appl Physiol* 1988; 65 : 509-18
- ²³ Wasserman K.: Determinants and detection of anaerobic threshold and consequences of exercise above it. *Circulation* 1987; 76 : Suppl VI : VI-29-39
- ²⁴ Wasserman K., Beaver W.L., Whipp B.J.: Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation* 1990; 81 : Suppl II: II-14-30
- ²⁵ Wasserman K.: The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129 : Suppl. : 534-40
- ²⁶ Feddersen C.O.: Spiroergometrie. *Internist* 1995; 36 : 29-34.
- ²⁷ Wassermann K., Stringer W.W., Casaburi R., Koike A., Cooper C.B.: Determination of the anaerobic threshold by gas exchange: biochemical considerations, methodology and physiological effects. *Z. Kardiol.* 1994; 83 : Suppl. 3 : 1-12
- ²⁸ Klinke R., Silbernagel S.: *Lehrbuch der Physiologie: Ernährung, Energiehaushalt und Stoffwechsel*, Thieme Verlag 1996 : 361
- ²⁹ Klinke R., Silbernagel S.: *Lehrbuch der Physiologie: Regulation der Pumpleistung des Herzens*; Thieme Verlag 1996 : 129-33
- ³⁰ Washington R.L., Bricker J.T., Alpert B.S., Daniels S.R., Deckelbaum R.J., Fisher E.A., Gidding S.S., Isabel-Jones J., Kavey R.E.W., Marx G.R., Strong W.B., Teske D.W., Wilmore J.H., Winston M.: Guidelines for Exercise Testing in the Pediatric Age Group. *Circulation* 1994; 90 No. 4 : 2166-79
- ³¹ Reybrouck T., Van den Eynde B., Dumoulin M., v.d. Hauwaert L.G.: Cardiorespiratory Response to Exercise in Congenital Complete Atrioventricular Block. *Am J Cardiol* 1989; 64 : 896-99
- ³² Manno B.V., Hakki A., Eshagpur E., Iskandrian A.: Left ventricular function at rest and during exercise in congenital complete heart block: a radionuclide angiographic evaluation. *Am J Cardiol* 1983; 52 : 92-94
- ³³ Thorén C., Herin P., Vávra J.: Studies of submaximal and maximal exercise in congenital complete heart block. *Acta Paediatrica Belgica* 1974; 28; Suppl. : 132-43
- ³⁴ Mocellin R., Bastanier C.: Funktionelle Untersuchungen bei Kindern und Jugendlichen mit angeborenem AV-Block. *Z Kardiol* 1977; 66 : 296-302
- ³⁵ Taylor M.R.H., Godfrey S.: Exercise studies in congenital heart block. *Brit Heart J* 1972; 34 : 930-35
- ³⁶ Eriksson B.O., Gollnick P.D., Saltin B.: Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11 to 13 years old. *Acta Physiol Scand* 1973; 81 : 485-97
- ³⁷ Winkler R.B., Freed M.D., Nadas A.S.: Exercise induced ventricular ectopy in children and young adults with complete heart block. *Am Heart J* 1980; 99 : 87-92

-
- ³⁸ Ikkos D., Hanson J.: Response to Exercise in Congenital Complete Atrioventricular Block. *Circulation* 1960; 22 : 583-90
- ³⁹ Cumming G.R., Dayle E., Laverne H.: Bruce Treadmill Test in Children: Normal Values in a Clinic Population. *Am J Cardiol* 1978; 41 : 69-75
- ⁴⁰ Reybrouck T., Weymans M., Stijns H., v.d.Hauwaert L.: Ventilatory anaerobic threshold in children and adults. *Eur J Appl Physiol* 1985; 54: 278-84
- ⁴¹ Mahon A., Gay J., Stolen K.: Differentiated ratings of perceived exertion at ventilatory threshold in children and adults. *Eur J Appl Physiol* 1998; 18 : 115-20
- ⁴² Washington R., van Gundy J., Cohen D., Sondheimer H., Wolfe R.: Normal aerobic and anaerobic exercise data for North American school-age children. *The Journal of Paediatrics* 1988; 112(2) : 223-33
- ⁴³ ACC/AHA/NASPE 2002 Guideline update for Implantation of Cardiac Pacemakers and Arrhythmia Devices. Summary Article. *Circulation* 2002; 106 : 2145 - 61
- ⁴⁴ Karpawich P.P., Perry L.P., Farooki Z.Q., Clapp S.K., Jackson W.L., Cicalese C.A., Green E.W.: Pacing in children and young adults with nonsurgical atrioventricular block: Comparison of single-rate ventricular and dual-chamber modes. *Am Heart J* 1987; 113(2) : 316-21

Danksagung

Herrn PD Dr. med. Andreas Heusch danke ich für die Überlassung des Themas. Desweiteren danke ich ihm und Frau Dr. med. Michaela Reitz für die sehr gute Betreuung bei der Durchführung und Ausarbeitung dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich Frau Beier und dem gesamten Team der kinder-kardiologischen Ambulanz für die Unterstützung bei der Durchführung der Spiroergometrien.

Lebenslauf

Name: Tim Lohoff
Geburtsdatum: 23.01.1975
Geburtsort: Wuppertal
Adresse: Luisenstraße 43
42103 Wuppertal

Schulbildung

1981 - 1985	Städt. Grundschule Sillerstraße, Wuppertal
1985 - 1994	Städt. Gymnasium Vohwinkel, Wuppertal
05 / 1994	Allgemeine Hochschulreife (Note: 1,8)

Zivildienst

1994 - 1995	Krankenhaus St. Josef, Wuppertal
-------------	----------------------------------

Studium

08 / 1995	Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
seit 1998	Dissertation zum Thema: Spiroergometrische Untersuchungen von Kindern mit kompletten AV-Block (Betreuer: Priv. – Doz. Dr. Heusch, Kinderkardiologie, Heinrich-Heine Universität Düsseldorf)

Praktisches Jahr

04 / 2001 – 05 / 2002	Kliniken St. Antonius – Petruskrankenhaus, Wuppertal (Wahlfach: Anästhesie) Chirurgie: Kantonsspital Winterthur, Schweiz Prof. Dr. Decurtins
-----------------------	--

Examina

09 / 1997	Ärztliche Vorprüfung (gut)
09 / 1998	1. Staatsexamen (befriedigend)
04 / 2001	2. Staatsexamen (gut)
05 / 2002	3. Staatsexamen (gut)

Auslandsaufenthalte

08 – 09 / 1999

Pädiatrie
Our Lady's Hospital for Sick Children
Dublin, Irland

09 – 12 / 2004

Chirurgie
Kantonsspital Winterthur, Schweiz
Prof. Dr. Decurtins

Beruflicher Werdegang

seit 06 / 2002

ärztliche Tätigkeit im Zentralinstitut für
Anästhesie der Kliniken St. Antonius,
Wuppertal

Abstract

Fragestellung

Kinder mit komplettem AV-Block (CAVB) können ihre Herzfrequenz unter Belastung nicht in dem Maße steigern, wie gesunde Kinder. Bei Kindern ist die Steigerung der Herzfrequenz aber die Hauptadaptationsgröße zur Erhöhung des Herzzeitvolumens (HZV), welches das Produkt aus Herzfrequenz (HF) und Schlagvolumen (SV) ist ($HMV = HF \times SV$). Es stellt sich also die Frage, ob die chronotrope Inkompetenz durch ein gesteigertes Schlagvolumen (SV) oder vielleicht durch eine größere periphere Sauerstoffextraktion kompensiert werden kann. Zur Beantwortung wurde die körperliche Leistungsfähigkeit von Kindern mit CAVB anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme und der anaeroben Schwelle unter maximaler Belastung gemessen und mit gesunden Kindern verglichen.

Methoden und Ergebnisse

Es wurden 18 Kinder mit CAVB und 40 herzgesunde Kinder nach einem modifizierten Bruce-Protokoll laufbandspiroergometrisch untersucht. Gemessen wurde die Belastungszeit, die maximal erreichte Belastungsstufe, die Herzfrequenz (Hf) in Ruhe und bei maximaler Belastung, der absolute Hf-Anstieg, die VO_{2max} , die VO_2 an der anaeroben Schwelle sowie die VO_2 an der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes. Die Probanden wurden in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht untersucht. Weiterhin wurde allen Probanden der Patientengruppe eine Echokardiografie durchgeführt.

Die Kinder mit AV-Block hatten im Vergleich zu den gesunden Kindern hinsichtlich der Belastungszeit ($p < 0,001$), der max. Belastungsstufe ($p < 0,001$), der max. Hf ($p < 0,001$), des Hf-Anstieges ($p < 0,001$), der VO_{2max} ($p < 0,001$), der VO_2 an der anaeroben Schwelle ($p < 0,001$) und der VO_2 an der anaeroben Schwelle in % des VO_{2max} -Sollwertes ($p = 0,001$) signifikant niedrigere Werte.

Eine linksventrikuläre Hypertrophie im Patientenkollektiv konnte nur in Einzelfällen nachgewiesen werden.

Schlussfolgerungen

Das in der vorliegenden Studie festgestellte Leistungsdefizit des Patientenkollektives ist in einem verminderten Herzzeitvolumen begründet. Es fanden sich keine Anhaltspunkte, dass dieses Defizit durch eine generelle Erhöhung des linksventrikulären, enddiastolischen Volumens ausgeglichen wird. Als möglicher Kompensationsmechanismus kommt lediglich eine Effizienzsteigerung des Frank-Starling-Mechanismus in Frage, welche jedoch die körperliche Leistungsminderung nur unzureichend ausgleicht.