

Diplomarbeit

**Vergleich unterschiedlicher ergometrischer  
Belastungsformen beim kardialen Patienten**

eingereicht von

**Birgit Putz**

Mat.Nr.: 0312528

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

Ausgeführt an der

**Univ. Klinik f. Innere Medizin, Klin. Abt. f. Kardiologie**

sowie im

**Rehabilitationszentrum der PVA in St. Radegund bei Graz**

unter der Anleitung von

**ao. Univ-Prof. Dr. Friedrich M. Fruhwald**

**Prim. PD. Mag. Dr. Dr. Manfred Wonisch**

### *Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwende habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am .....*

*Unterschrift*

#### **Anmerkung:**

Um das Lesen der vorliegenden Arbeit zu erleichtern, wurde aus praktischen Überlegungen das generische Maskulinum verwendet. Diese Schreibweise bezieht sich sowohl auf männliche als auch auf weibliche Personen.

## **Vorwort**

Schon in der Volksschule hatte ich eine besondere Begeisterung für den Sport, welche mir bis heute geblieben ist. Im Laufe meines Studiums für Humanmedizin wurde mir der Zusammenhang zwischen Sport und Gesundheit immer mehr bewusst. Daher habe ich eine Diplomarbeit gewählt, in welcher die Auswirkungen von körperlicher Betätigung auf den menschlichen Körper erörtert wurden.

Ich bin für diese Diplomarbeit sehr dankbar, da ich mir einen Grundstock über die Leistungsdiagnostik erarbeiten konnte, welcher mir in Zukunft bei der Arbeit sicherlich eine große Hilfe sein wird.

## **Danksagung:**

Ich möchte mich hiermit ganz herzlich bei meinen Betreuern ao. Univ-Prof. Dr. Friedrich M. Fruhwald und Prim. PD. Mag. Dr. Dr. Manfred Wonisch bedanken. Trotz ihrer vielen Arbeit fanden sie immer Zeit meine Fragen zu beantworten. Ich wurde Schritt für Schritt an das Schreiben einer Diplomarbeit herangeführt.

Danke, dass ich bei Ihnen als Team diese Diplomarbeit schreiben durfte.

Des Weiteren möchte ich mich ganz herzlich bei Fr. OA Ursula Eherer bedanken, die mir die Materie Spiroergometrie zusätzlich zum Literaturstudium verständlich machte und diese Studie mit viel Geduld und Engagement durchführte. Auch möchte ich hiermit Frau Angela Meister meinen Dank aussprechen. Durch die Art und Weise mit der sie Patienten motivierte, wurden die Belastungstests belebt.

Ein besonderer Dank gilt ao. Univ. Prof. Andreas Eherer, der mich bei der Statistik unterstützte, sowie Herrn Florian Reihls der mich mit viel Geduld in die Welt des Excel 2007 einführte.

## Zusammenfassung

**Zielsetzung:** In dieser Studie sollte untersucht werden, ob Unterschiede in submaximalen und maximalen Kennwerten bei der Fahrrad-, Laufband-, bzw. Armkurbelspiroergometrie von kardialen Patienten bestehen, bzw. ob Zusammenhänge unter den einzelnen Belastungsformen nachweisbar waren.

**Methodik:** Zehn Patienten mit stabiler koronarer Herzkrankheit nahmen im Rahmen ihres Aufenthaltes in der Sonderkrankenanstalt der Pensionsversicherung in St. Radegund teil. Pro Patient wurden mindestens drei Belastungstests durchgeführt.

Es wurden stufenförmige Belastungstests durchgeführt und die Leistung (P), Herzfrequenz (HF), Laktat (La) sowie respiratorische Parameter gemessen. Zusätzlich wurden die aerobe und die anaerobe Schwelle bestimmt.

**Ergebnisse:** Die Maximalwerte von *Fahrrad*, *Laufband* und *Armkurbel* waren: P<sub>max</sub>: 191±29 W vs. 339±52 W vs. 99±9 W, HF<sub>max</sub>: 140±16 bpm vs. 147±18 bpm vs. 141±18 bpm; VO<sub>2</sub>max/kg: 26,9±4,8 ml/min/kg vs. 30,6±5,3 ml/min/kg vs. 20,5±4,2 ml/min/kg; La<sub>max</sub>: 7,7±2,1 mmol/l vs. 7,4±1,8 mmol/l vs. 8,1±1,3 mmol/l.

An der anaeroben Schwelle betragen die Werte am *Fahrrad*, *Laufband* und der *Armkurbel*: P: 131±24 W vs. 263±45 W vs. 72±36 W; HF: 121±15 bpm vs. 135±15 bpm vs. 113±19 bpm; VO<sub>2</sub>/kg: 20,1±3,6 ml/min/kg vs. 28,3±4,1 ml/min/kg vs. 15,3±2,9 ml/min/kg; La: 4,2±1,4 mmol/l vs. 4,8±1,2 mmol/l vs. 4,4±1,0 mmol.

**Diskussion:** Zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit erweist sich sowohl die Fahrrad-, die Laufband-, als auch die Armkurbelspiroergometrie als geeignet. An den Maximalwerten der Leistung und der VO<sub>2</sub>max zeigten sich signifikante Unterschiede bezüglich der drei Belastungsformen, wobei die Laufbandspiroergometrie jeweils die höchsten und die Armkurbelspiroergometrie jeweils die niedrigsten Werte ergab. Die Maximalwerte der HF und des Laktats ergaben keine signifikanten Unterschiede. Die bei einer spezifischen Belastungsuntersuchung ermittelten Trainingsempfehlungen sollten nicht direkt auf andere Belastungsformen übertragen werden.

**Schlüsselwörter:** Fahrradspiroergometrie, Laufbandspiroergometrie, Armkurbelspiroergometrie, kardialer Patient, anaerobe Schwelle, Ausbelastung, Rehabilitation.

## Abstract:

**Purpose:** The aim of this study was to find out the differences eg. the correlations in a maximal test on the cycle ergometer, the treadmill and the crank handle ergometer in patients with coronary artery disease.

**Methods:** Ten patients with known coronary artery disease and normal left ventricular function underwent an incremental cycle, treadmill and crank handle exercise test while they stayed in the center for cardio rehabilitation of the Pensionsversicherungsanstalt St. Radegund/Graz.

They performed the incremental tests until exhaustion to determine power (P), heart rate (HF), blood lactate concentration (La) and respiratory parameters. Furthermore the aerobic and the anaerobic thresholds were determined.

**Results :** Maximal values were as follows for *leg cycle ergometer* versus *treadmill* versus *crank handle ergometer*: Pmax: 191±29 W vs. 339±52 W vs. 99±9 W, HFmax: 140±16 bpm vs. 147±18 bpm vs. 141±18 bpm; VO<sub>2</sub>max/kg: 26,9±4,8 ml/min/kg vs. 30,6±5,3 ml/min/kg vs. 20,5±4,2 ml/min/kg; Lamax: 7,7±2,1 mmol/l vs. 7,4±1,8 mmol/l vs. 8,1±1,3 mmol/l.

The values at the anaerobic threshold for *leg cycle ergometer* versus *treadmill* versus *crank handle ergometer* were: P: 131±24 W vs. 263±45 W vs. 72±36 W; HF: 121±15 bpm vs. 135±15 bpm vs. 113±19 bpm; VO<sub>2</sub>/kg: 20,1±3,6 ml/min/kg vs. 28,3±4,1 ml/min/kg vs. 15,3±2,9 ml/min/kg; La: 4,2±1,4 mmol/l vs. 4,8±1,2 mmol/l vs. 4,4±1,0 mmol.

**Discussion:** In conclusion, the leg cycle, the treadmill and the arm cycle ergometer are equally useful for cardiopulmonary exercise testing. The maximal values were significantly different on the power and VO<sub>2</sub> in all three incremental exercise tests. On the treadmill the highest- and on the crank handle ergometer the lowest parameters have been measured. The maximal values for HF and La were not significantly different. Due to the great differences of the results between the three types of exercise tests for maximal effort it is still not possible to transfer exactly the same findings from one kind of ergometer to another one.

**Key Words:** incremental cycle ergometer test, incremental treadmill test, incremental crank handle ergometer test, patient with coronary artery disease, anaerobic threshold, exhaustion, rehabilitation.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	ii
Danksagung: .....	ii
Zusammenfassung .....	iii
Abstract: .....	iv
Inhaltsverzeichnis .....	v
Glossar und Abkürzungen .....	vii
Abbildungsverzeichnis .....	ix
Tabellenverzeichnis .....	x
1 Einleitung .....	11
1.1 Grundlagen der Leistungsphysiologie .....	11
1.1.1 Energiebereitstellung .....	11
1.1.2 Belastungs-Herzfrequenz.....	12
1.1.3 Belastungs-Blutdruck .....	12
1.1.4 Elektrokardiogramm (EKG).....	13
1.2 Grundlagen der klinischen Leistungsdiagnostik.....	14
1.2.1 Spiroergometrie .....	14
1.2.2 Sauerstoffaufnahme bei Maximalbelastung ( $VO_{2max}$ ).....	14
1.2.3 Atemminutenvolumen (Ventilation VE) .....	16
1.2.4 Sauerstoffpuls ( $VO_2/HF$ ).....	16
1.2.5 Respiratorischer Quotient (RQ).....	17
1.2.6 Atemäquivalente für Sauerstoff ( $VE/VO_2$ ) und für Kohlendioxid ( $VE/VCO_2$ ) 17	
1.2.7 Ventilatorische Schwelle (VT) .....	18
1.2.8 Respiratory compensation point (RCP).....	18
1.3 Laktatleistungsdiagnostik .....	19
1.3.2 Laktatleistungskurve.....	19
1.4 Schwellenkonzepte im Vergleich .....	20
1.4.1 Übergang von Phase I zu Phase II.....	20
1.4.2 Übergang von Phase II zu Phase III .....	20
1.5 Andere Formen der Belastungsuntersuchung .....	21
1.6 Training bei Herzkreislauf-Erkrankungen (HKL-Erkrankungen) .....	21
1.7 Ziel der Studie.....	22

2	Material, Probanden und Methoden .....	23
2.1	Studienziel .....	23
2.2	Rekrutierung der Studienteilnehmer .....	23
2.3	Spiroergometrie .....	24
2.3.1	Fahrradspiroergometrie .....	24
2.3.2	Laufbandspiroergometrie.....	25
2.3.3	Armkurbelspiroergometrie .....	25
2.3.4	Abbruchkriterien.....	25
2.3.5	Überwachung der Probanden.....	25
2.4	Statistik .....	26
3	Ergebnisse – Resultate.....	27
3.1	Maximale und submaximale Kennwerte bei unterschiedlichen Belastungen.....	27
3.1.1	Vergleich von kardiorespiratorischen und metabolischen Parametern .....	27
3.1.2	Verlauf von kardialen und respiratorischen Parametern bei stufenförmig ansteigenden Belastungstests.....	35
4	Diskussion .....	46
4.1	Stufentest .....	46
4.1.1	Leistung .....	46
4.1.2	Herzfrequenzverlauf .....	47
4.1.3	Respiratorische Parameter .....	49
4.2	Schlussfolgerung:.....	50
5	Literaturverzeichnis .....	51
	Lebenslauf .....	54

## Glossar und Abkürzungen

%Pmax	Prozent der maximalen Leistung
%VO <sub>2</sub> max	Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme
ACS	Akutes Koronar Syndrom
ADP	Adenosindiphosphat
AMV	Atemminutenvolumen
ANS	Anaerobe Schwelle
AP	Angina Pectoris
AS	Aerobe Schwelle
ATP	Adenosintriphosphat
a-v-DO <sub>2</sub>	arterio-venöse Sauerstoffdifferenz
AV-Knoten	artrio-ventrikular Knoten
Bpm	Schläge pro Minute
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
EKG	Elektrokardiogramm
EQCO <sub>2</sub>	Atemäquivalent für Kohlendioxid
HF	Herzfrequenz
HF50	Trainings-Herzfrequenz nach Karvonen bei 50% der maximalen Herzfrequenz
HF60	Trainings-Herzfrequenz nach Karvonen bei 60% der maximalen Herzfrequenz
HF70	Trainings-Herzfrequenz nach Karvonen bei 70% der maximalen Herzfrequenz
HFKP	Herzfrequenzknickpunkt
HKL	HerzKreislauf
HMV	Herzminutenvolumen
H RTP	Heart Rate Turn Point
KHK	Koronare Herz Krankheit
km/h	Kilometer pro Stunde
l/min	Liter pro Minute
La	Blutlaktatkonzentration
LLK	Laktatleistungskurve
LTP1	Laktat Turn Point 1
LTP2	Laktat Turn Point 2
LVEFKP	Linksventrikulärer Ejektionsfraktions Knickpunkt
Max	Maximal
MET	metabolisches Äquivalent
ml/min/kg	Milliliter pro Minute pro Kilogramm
MLSS	Maximal Lactat Steady State
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol/l	Millimol pro Liter
NSTEMI	Non-ST Elevation Myocardial Infarction
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
P	Power
pH	Pontentia Hydrogenii
RCP	Respiratory Compensation Point

RF	Risikofaktoren
RQ	Respiratorischer Quotient
RR	Blutdruck
RRsys	systolischer Blutdruck
s	Sekunde
SPECT	Single Photonen Emissions Computertomographie
Std Abw.	Standard Abweichung
STEMI	ST-Elevation Myocardial Infarction
SV	Schlagvolumen
VCO <sub>2</sub>	Kohlendioxidabgabe
VE	Ventilation
VE/VCO <sub>2</sub>	Atemäquivalent für Kohlendioxid
VE/VO <sub>2</sub>	Atemäquivalent für Sauerstoff
VO <sub>2</sub>	Sauerstoffaufnahme
VO <sub>2</sub> /HF	Sauerstoffpuls
VT	Ventilatorische Schwelle
VT2	zweiter Ventilatorischer Knickpunkt
W	Watt

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der $\dot{V}_T$ und RCP am Verlauf der $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ und $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ (8)	17
Abbildung 2: Die Veränderungen der Parameter, von Phase I bis III. (3)	20
Abbildung 3: %Pmax an der aeroben Schwelle am Fahrrad, Laufband und Armkurbel ....	31
Abbildung 4: %Pmax an der anaeroben Schwelle von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.	32
Abbildung 5: Pmax von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.....	32
Abbildung 6: Korrelation von P am Fahrrad und P am Laufband und Armkurbel an der aeroben Schwelle.....	33
Abbildung 7: Korrelation vom P am Fahrrad und P am Laufband und Armkurbel an der anaeroben Schwelle.....	33
Abbildung 8: Korrelation der Pmax von Fahrrad und der Pmax von Laufband und Armkurbel.....	34
Abbildung 9: Vergleich des Verlaufs der HF im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.....	35
Abbildung 10: Korrelation der HF von Fahrrad zu Laufband und Armkurbel an der aeroben Schwelle.....	36
Abbildung 11: Korrelation der HF von Fahrrad zu Laufband und Armkurbel an der anaeroben Schwelle.....	37
Abbildung 12: Korrelation der HF von Fahrrad zu Laufband und Armkurbel bei Maximalbelastung.....	37
Abbildung 13: Vergleich des Verlaufs der $\dot{V}O_2$ im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.....	39
Abbildung 14: Korrelation der $\dot{V}O_{2max}$ von Fahrrad zu Laufband und Armkurbel. ....	40
Abbildung 15: Korrelation der % $\dot{V}O_{2max}$ von Laufband/Fahrrad zu Armkurbel/Fahrrad.	41
Abbildung 16: Vergleich des Verlaufs der $\dot{V}CO_2$ im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.....	42
Abbildung 17: Vergleich des Verlaufs der $\dot{V}_E$ im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.....	43
Abbildung 18: Vergleich des Verlaufs von $\dot{V}O_2/HF$ im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.....	44
Abbildung 19: Vergleich des Verlaufs vom La im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.....	45

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Vergleich der kardiorespiratorischen und metabolischen Parameter in Ruhe....	27
Tabelle 2: Vergleich der kardiorespiratorischen und metabolischen Parameter an der aeroben Schwelle.....	28
Tabelle 3: Vergleich der kardiorespiratorischen und metabolischen Parameter an der anaeroben Schwelle.....	29
Tabelle 4: Vergleich der kardiorespiratorischen und metabolischen Parameter bei maximaler Belastung.....	30
Tabelle 5: Trainings-HF nach Karvonen.....	38

# 1 Einleitung

## 1.1 Grundlagen der Leistungsphysiologie

### 1.1.1 Energiebereitstellung

Die Muskelkontraktion erfolgt durch die Umwandlung von Adenosintri-phosphat (ATP) zu Adenosindiphosphat (ADP). Die Muskelzelle besitzt neben ATP das Kreatinphosphat als eine zusätzliche energiereiche Phosphatverbindung. Diese Form der Energiebereitstellung wird als anaerob-alaktazid bezeichnet.

Die energiereichen Phosphate werden in den Mitochondrien, den „Kraftwerken der Muskelzelle“, oxidativ rephosphoryliert. Als Substrat dient Acetyl Co-A, welches aus dem aeroben Abbau von Glukose und der  $\beta$ -Oxidation der freien Fettsäuren gewonnen wird. Die oxidative Rephosphorylierung erfolgt durch den Citratzyklus und anschließend durch die Atmungskette.

Ist die oxidative Kapazität der Mitochondrien erschöpft, so erfolgt die Energiebereitstellung durch anaerobe Glykolyse, welche in einem Anstieg von Laktat (Milchsäure) resultiert. Durch die schnelle anaerobe Glykolyse entstehen allerdings aus einem mol Glukose nur 3 mol ATP, während hingegen unter den länger dauernden aeroben Bedingungen aus derselben Menge Glukose 36 mol ATP gewonnen werden können.(1)

Abhängig von der Belastungsintensität und -dauer kommt es zum Überwiegen der anaeroben-alaktaziden, aeroben, oder anaeroben-laktaziden Energiebereitstellung. Von der Art der Energiebereitstellung ist die Laktatproduktion abhängig. Sie dient als Parameter zur Leistungsdiagnostik. (2)

#### 1.1.1.1 3 Phasen der Energiebereitstellung

Es wird je nach überwiegendem Substrat die Energiebereitstellung in 3 Phasen unterschieden. Diese sind bei stufenförmig ansteigender Belastung mittels Atemgasen, Blutlaktatkonzentration und Herzfrequenz detektierbar. Abbildung 2: Die Veränderungen der Parameter, von Phase I bis III. (Abbildung 2)

Phase I = aerobe Phase

Phase II = aerob-anaerobe Phase

Phase III = anaerobe Phase (3)

Die einzelnen Parameter und deren phasenabhängige Veränderungen werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

### 1.1.2 Belastungs-Herzfrequenz

Beim Gesunden zeigt der Verlauf der Herzfrequenz (HF) eine s-förmige Kurve und bei ca. 86% der Gesunden eine Abflachung im submaximalen Bereich.(4)

Bei Herzkranken kommt es unter Belastung zu einem verzögerten Anstieg der Herzfrequenz und anschließend bei zirka 75% der Maximalbelastung zu einem überschießenden Anstieg der Herzfrequenz.

Dies ist als Zeichen einer eingeschränkten Pumpfunktion zu werten.

Zeigt der Proband einen Knick der Herzfrequenzleistungskurve im submaximalen Bereich, so wird dieser als Herzfrequenzknickpunkt bezeichnet und kann zur Bestimmung der anaeroben Schwelle herangezogen werden. (4)

Die maximale Herzfrequenz kann mit der Formel:

$$\boxed{220 - \text{Alter} (\pm 15\%)} \quad (5) \text{ errechnet werden.}$$

### 1.1.3 Belastungs-Blutdruck

Der Blutdruck (RR) bei Belastung gibt einen Hinweis über den Zustand der myokardialen Pumpleistung und über die Adaptionfähigkeit des Herzens.

RR-Abfälle bei Belastung (-10 mmHg) unter den Ausgangswert, bzw. eine unzureichende Steigerung des systolischen RR ( $RR_{\text{sys}_{\text{max}}} < 120 \text{ mmHg}$ ), können ein Hinweis auf eine eingeschränkte Pumpfunktion, myokardiale Ischämie, Arrhythmien, vasovagale Reaktionen, Überdosierung von Antihypertensiva, linksventrikuläre Ausflussbahnobstruktion, oder Hypovolämie sein.

Der  $RR_{\text{sys}}$  sollte sich um 5-10 mmHg pro 20-30 Watt Leistungssteigerung am Fahrradergometer erhöhen, jedoch nicht den Wert nach folgender Formel überschreiten:

$$\boxed{120 + 0,4 \times (\text{gegebene (Watt-)Stufe} + \text{Lebensalter in Jahren})} \quad (5)$$

Wird dieser Wert überschritten, so liegt eine Belastungshypertonie vor und ist ein Risikofaktor für einen Myokardinfarkt.(5)

In der dritten Minute der Nachbelastungsphase soll der Blutdruck systolisch weniger als 90% des Maximalwertes betragen, bzw. sollte dann der Wert deutlich niedriger sein, als in der ersten Minute der Nachbelastungsphase. (5)

#### **1.1.4 Elektrokardiogramm (EKG)**

Das EKG gibt Auskunft über die intrakardiale Ausbreitung und Rückbildung elektrischer Impulse. Im Normalfall erfolgt die Erregung vom Sinusknoten über die Atrien zum AV-Knoten. Anschließend breitet sich der elektrische Impuls über das His-Bündel weiter zu den Ventrikeln über die Reizleitungsschenkel und das Purkinje-Faser-System aus. Diese Vorgänge zeigen sich im EKG als Zacken bzw. Wellen. (6)

Während der gesamten Belastungsuntersuchung wird ein EKG aufgezeichnet um eventuelle myokardiale Ischämien zu detektieren.

Für die Belastungsuntersuchung von besonderer Bedeutung sind die ST-Strecke und der J-Punkt. ST-Strecken-Veränderungen sind bis auf rasch ascendierende ST-Strecken-Senkungen als pathologisch zu werten. Auch die Normalisierung einer in Ruhe bestehenden ST-Senkung erhärtet den Verdacht auf Ischämie.

Des Weiteren sind T-Wellen-Hebungen von über 1 mm ohne Q-Zacken Zeichen einer Minderversorgung des Myokards mit Sauerstoff.

Die zuvor genannten Veränderungen erlauben nur eine ungefähre Zuordnung zum stenosierte Koronargefäß.

Zusätzlich ermöglicht das EKG die Feststellung von Herzrhythmusstörungen und Blockbildungen unter Belastung. (5)

Weiters kann es durch eine Veränderung der QT-Zeit auf Elektrolytstörungen, oder medikamentös induzierte Veränderungen hinweisen. (7)

## **1.2 Grundlagen der klinischen Leistungsdiagnostik**

### **1.2.1 Spiroergometrie**

Die Spiroergometrie ist ein Verfahren für die kardio-pulmonale und metabolische Funktionsdiagnostik unter Belastung. Hierbei handelt es sich um einen klinischen Test mittels Atemmaske, Ergometer und entsprechenden leistungsdiagnostischen Messsystemen um körperliche Reaktionen qualitativ und quantitativ auf steigende Belastung zu untersuchen. (7)

Erfasst werden die Sauerstoff-, und Kohlendioxidfraktion, sowie das Volumen der ausgeatmeten Luft. Gemeinsam mit der HF können aus diesen Variablen bedeutende Parameter gewonnen werden. (8)

### **1.2.2 Sauerstoffaufnahme bei Maximalbelastung ( $VO_{2max}$ )**

Die Sauerstoffaufnahme bei Maximalbelastung ( $VO_{2max}$ ) ist ein wichtiger Referenzwert zur Feststellung der aeroben Leistungsfähigkeit und des kardiopulmonalen Zustandes.

Die  $VO_{2max}$  hängt von Sauerstoff aufnehmenden, transportierenden und verwertenden Systemen des Körpers ab. Sie ist alters- und geschlechtsabhängig.

Die Einheit wird in Liter pro Minute angegeben (L/min). (7)

Um die Vergleichbarkeit verbessern zu können wird die  $VO_{2max}$  in Bezug zum Körpergewicht gesetzt (ml/min/kg). Sie wird durch das metabolische Äquivalent (MET) ausgedrückt. 1 MET entspricht dem Energieumsatz in Ruhe mit einer Sauerstoffaufnahme von durchschnittlich 3,5 ml/min/kg. (8)

Normwerte beim Untrainierten:

- In Ruhe: 300ml/min (4-5 ml/min/kg)
- Unter Maximalbelastung beim Untrainierten: 3000ml/min (35-45 ml/min/kg)

Die  $VO_{2max}$  wird idealerweise direkt bei der Spiroergometrie gemessen. (7)

### 1.2.2.1 Fick'sches Gesetz

Durch das Fick'sche Gesetz wird ersichtlich, dass die  $VO_{2max}$ , als Indikator der körperlichen Leistungsfähigkeit, von einer Vielzahl zentraler und peripherer Faktoren des Körperkreislaufs und auch der Atemmechanik, abhängt:

$$VO_{2max} = HMV_{max} \times a-v-DO_{2max}$$

Die  $VO_{2max}$  kann durch jeden einzelnen Bestandteil dieser Gleichung verändert werden.

(9)

#### 1.2.2.1.1 Herzminutenvolumen (HMV)

Das Herzminutenvolumen ist eine Zusammensetzung aus zentralen Faktoren. Es errechnet sich aus dem Schlagvolumen (SV) und der Herzfrequenz (HF):

$$HMV = SV \times HF$$

SV = enddiastolisches Volumen – endsystolisches Volumen

Herzfrequenz = Schläge / Minute (8)

#### 1.2.2.1.2 Arterio-venöse Sauerstoffdifferenz(a-v- $DO_{2max}$ )

Zu den peripheren Faktoren zählen alle Faktoren, welche die  $a-v-DO_{2max}$  beeinflussen. Sie gibt an, wie stark arterielles Blut mit Sauerstoff ( $O_2$ ) angereichert werden kann und in welchem Ausmaß venöses Blut  $O_2$  abgeben kann.

Der arterielle  $O_2$ -Gehalt hängt vom Hämoglobingehalt des Blutes und dem alveolären  $O_2$ -Partialdruck ab. Der alveoläre  $O_2$ -Partialdruck ist wiederum abhängig vom atmosphärischen  $O_2$ -Partialdruck, der alveolären Ventilation und der Diffusionskapazität der Lunge.

Der venöse  $O_2$ -Gehalt wird größtenteils durch den Blutfluss der Muskulatur bestimmt. Dieser kann niemals auf 0 sinken, da der gesamte Organismus durchblutet werden muss und unterschiedlich viel  $O_2$  extrahiert wird.

Die  $a-v-DO_{2max}$  beträgt in Ruhe ca. 4-5 ml  $O_2$ /100ml und bei Maximalbelastung bis zu 18 ml  $O_2$ /100ml. (8)

### 1.2.3 Atemminutenvolumen (Ventilation VE)

In Analogie zum Herzminutenvolumen berechnet sich das Atemminutenvolumen nach folgender Formel:

$$\text{Atemminutenvolumen} = \text{Atemfrequenz} \times \text{Atemzugvolumen}$$

Einheit: L/min

Das Atemzugvolumen (Tidalvolumen  $V_T$ ) entspricht jenem Gasvolumen, welches pro Inspiration aufgenommen wird.

Bei Gesunden erfolgt eine Steigerung des Atemminutenvolumens unter Belastung primär durch Zunahme des Atemzugvolumens und sekundär durch die Steigerung der Atemfrequenz. (8)

Herz- und lungenkranke Menschen zeigen ein pathologisches Atemmuster, welches durch einen primären Anstieg der Atemfrequenz und nicht des Atemzugvolumens gekennzeichnet ist. Zusätzlich besteht ein Ventilations-Perfusionsmissverhältnis, sodass der alveoläre Kapillarblutfluss nicht adäquat gesteigert werden kann. (10)

Viele Patienten zeigen eine oszillierende Atmung bei stufenförmig ansteigender Belastung, welche die Schwellenbestimmung mittels Atemparameter erschwert. Das Ausmaß der oszillierenden Atmung korreliert mit dem Schweregrad der Herzinsuffizienz. (11)

### 1.2.4 Sauerstoffpuls ( $VO_2/HR$ )

Unter Belastung gilt der Sauerstoffpuls als wichtiger Marker für die myokardiale Funktion. Er zeigt den  $O_2$ -Verbrauch pro Herzschlag an und hängt von der  $a-v-DO_{2max}$  ab. Anämie, sowie intrakardiale rechts-links Shunts führen zu reduzierten Werten. Herzinsuffiziente Patienten zeigen eine frühe Plateaubildung mit ebenfalls insgesamt reduzierten Werten. (8)

Im Gegensatz dazu haben Patienten unter  $\beta$ -Blocker-Therapie einen höheren Sauerstoffpuls als solche ohne  $\beta$ -Blocker Medikation, da sie therapiebedingt eine niedrigere Herzfrequenz bei jeder Belastungsstufe aufweisen. (12)

Der Normalwert für  $VO_2/HR$  beträgt 4 – 6 ml in Ruhe und 10 – 20ml unter sehr starker Belastung. (8)

## 1.2.5 Respiratorischer Quotient (RQ)

$$RQ = VCO_2 / VO_2$$

Der respiratorische Quotient wird verwendet, um das überwiegende Substrat der Energiebereitstellung herauszufinden. Werden größtenteils Kohlenhydrate verstoffwechselt, so beträgt der Wert des RQ 1. Werden v.a. Fette verstoffwechselt, so sinkt der RQ auf 0,7. Bei durchschnittlicher Ernährung beträgt der RQ zwischen 0,82 – 0,85.

Ist die körperliche Belastung zu intensiv bzw. kommt es zu einem oftmaligen Wechsel der Belastungsform so kann der RQ auf Werte  $> 1$  ansteigen, da die  $CO_2$ -Produktion die  $O_2$ -Aufnahme übersteigt. (8) Der Proband ist ausbelastet bei einem  $RQ > 1$  (13)

## 1.2.6 Atemäquivalente für Sauerstoff ( $VE/VO_2$ ) und für Kohlendioxid ( $VE/VCO_2$ )

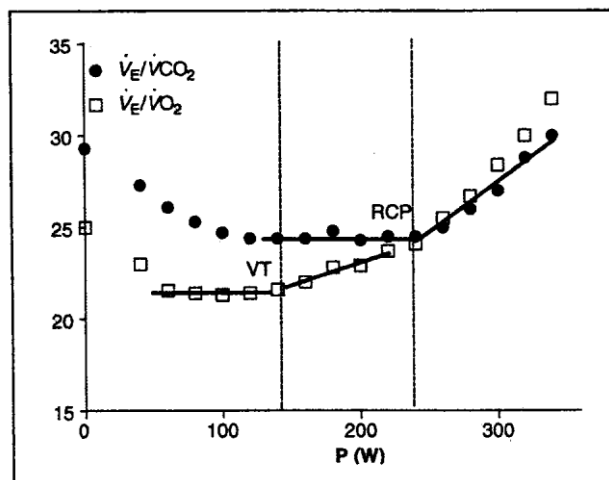


Abbildung 1: Darstellung der VT und RCP am Verlauf der  $VE/VO_2$  und  $VE/VCO_2$  (8) mit freundlicher Genehmigung von Krause & Pachernegg GmbH

Das  $VE/VO_2$ , in Abbildung 1 dargestellt, gibt an, wie effizient die Lunge Sauerstoff in das Blut aufnehmen kann. Es wird berechnet aus dem Atemzugvolumen dividiert durch den Sauerstoffverbrauch und ist abhängig vom Totraumvolumen.

Bei Menschen mit chronischer Herzinsuffizienz, beziehungsweise bei Menschen mit pulmonaler Erkrankung ist das  $VE/VO_2$  erhöht, weil aus verhältnismäßig viel Volumen (zum Großteil Totraumvolumen) wenig Sauerstoff extrahiert werden kann. In Ruhe beträgt das  $VE/VO_2$  zwischen 25 und 40. Das Minimum liegt an der ventilatorischen Schwelle (VT) bei 22-27 und steigt danach wieder an. (8)

Das  $VE/VCO_2$  repräsentiert die Kohlendioxidabgabe aus dem Blut pro Atemzug. (Abbildung 1) Das Minimum liegt beim „respiratory compensation point“ zwischen 26 – 30. Danach kommt es zu einem neuerlichen Anstieg dieses Wertes. (7)

Diese beiden Parameter werden zur Schwellenbestimmung herangezogen.

### **1.2.7 Ventilatorische Schwelle (VT)**

Synonyme der ventilatorischen Schwelle sind: ventilatory threshold, anaerobic threshold, ventilatory anaerobic threshold. Sie zeigt den Übergang von Phase I zu Phase II an. Die VT ist am ersten Knickpunkt des  $VE/VO_2$ , bzw. am ersten Aufwärtsknick der VE erkennbar. (Abbildung 1, Abbildung 2)

Die Ursache der Veränderungen dieser Parameter liegt darin, dass durch vermehrte körperliche Belastung die Blutlaktatkonzentration in einem Ausmaß ansteigt, welche der Muskel selbst nicht mehr abbauen kann. Dadurch wird Laktat in das Blut abgegeben, welches durch das Bikarbonat – Puffersystem des Blutes sekundär zu einem Anstieg von  $CO_2$  führt und vermehrt abgeatmet wird.

Die VT kann ohne Ausbelastung des Probanden eruiert werden und ist unabhängig von dessen Compliance. (8)

### **1.2.8 Respiratory compensation point (RCP)**

Wird die Belastungsintensität weiter gesteigert, so entsteht im Körper durch zunehmende anaerobe Energiebereitstellung eine metabolische Azidose. Diese führt zu einer weiteren Erhöhung der Atemfrequenz. Der RCP, ist durch den zweiten Aufwärtsknick der VE und des minimalen  $VE/VCO_2$  charakterisiert. (8) (Abbildung 1, Abbildung 2)

## **1.3 Laktatleistungsdiagnostik**

### **1.3.1.1 Laktat**

Laktat wird aus dem Blut ermittelt und dient der Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Da die Ruhelaktatwerte im Normalfall zwischen 0,4 und 1,5 mmol/l schwanken, wird zu Beginn ein Vorbelastungslaktat entnommen und als Basiswert herangezogen. Wichtig sind die relativen Änderungen der Blutlaktatkonzentration unter stufenförmig ansteigender Belastung. Diese werden in Form der Laktatleistungskurve dargestellt. (14)

Die Laktat-Kinetik ist abhängig vom Belastungsprotokoll und dem verwendeten Ergometer (Fahrrad, Laufband, Handkurbel), der Art der Blutabnahme (arteriell, venös, kapillar), sowie vom Probanden selbst. (11)

### **1.3.2 Laktatleistungskurve**

In Abbildung 2 sind die zwei Knickpunkte der Laktatleistungskurve (LLK) bei stufenförmig ansteigender Belastung dargestellt. Bis zum ersten Knickpunkt, dem Laktat Turn Point 1 (LTP<sub>1</sub>), verläuft die Phase I. Sie wird als aerobe Phase bezeichnet. Der Muskel kann das anfallende Laktat selbst abbauen und die Blutlaktatkonzentration bleibt konstant.

Überschreitet die Laktatproduktion die höchstmögliche muskuläre Laktatabbaurrate, so ist eine Erhöhung des Produktes im Blut messbar und die aerob-anaerobe Übergangsphase, Phase II, hat begonnen.

In Phase II besteht ein Laktat-Steady-State; das heißt, der gesamte Organismus kann das aus der Arbeitsmuskulatur anfallende Laktat abbauen. Steigt die Produktion jedoch weiter an, so kommt es zum zweiten Laktat Turn Point (LTP<sub>2</sub>) und die Phase III beginnt. Der LTP<sub>2</sub> wird auch als Maximal Lactate Steady State (MLSS) bezeichnet.

In der Phase III kommt es zu einem exponentiellen Anstieg des Laktats. Der pH-Wert sinkt und es entsteht eine metabolische Azidose im Organismus.

Die maximale Belastung ist erreicht. (14)

Für die Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung besonders wichtig ist der aerob-anaerobe Übergangsbereich, welcher mittels metabolischer und respiratorischer Parameter erfasst werden kann.



## **1.5 Andere Formen der Belastungsuntersuchung**

Weitere Möglichkeiten einer Belastungsuntersuchung sind die medikamentös induzierte Belastungsuntersuchung, die kontinuierliche Untersuchung mittels Echokardiographie bei Belastung bzw. die Single-Photonen-Emissions-Computertomographie (SPECT).

Zur Feststellung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Vorschreibung der Intensität für regelmäßiges Ausdauertraining ist die Spiroergometrie jedoch am besten geeignet.

## **1.6 Training bei Herzkreislauf-Erkrankungen (HKL-Erkrankungen)**

Körperliches Training erhöht die Leistungsfähigkeit bei Gesunden genauso wie bei Patienten mit HKL-Erkrankung. Durch höhere körperliche Leistungsfähigkeit wird die Lebensqualität der Betroffenen verbessert und die Pathogenese der Erkrankung positiv beeinflusst. (16)

Die Trainingssteuerung bei Herzkreislauf-Erkrankungen erfolgt nach Richtlinien der kardiologischen Gesellschaft (5), um eine sichere und risikoarme Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit zu erreichen. (16) Um ein optimales Trainingsprogramm erstellen zu können, erfolgt eine (spiro)ergometrische Belastungsuntersuchung zur Feststellung des aktuellen Leistungszustandes.

Geringe körperliche Leistungsfähigkeit zählt genauso wie Rauchen, Diabetes mellitus, Adipositas und arterielle Hypertonie zu den unabhängigen Risikofaktoren von HKL-Erkrankungen und beeinflusst die Mortalität negativ. (10) Regelmäßiges Ausdauertraining und moderates Krafttraining zeigen einen positiven Einfluss auf HKL-Erkrankungen, jedoch sollte bei beiden Trainingsmethoden eine zu hohe kardiovaskuläre Belastung vermieden werden. (17)

Belastungsvorgaben erfolgen routinemäßig über die Herzfrequenz. Diese können über die Karvonen-Formel berechnet werden: Der extensive Trainingsbereich liegt bei 70-80% der anaeroben Schwelle, der mittlere bei 80-90% der anaeroben Schwelle und der intensive Trainingsbereich liegt bei 90-97% der anaeroben Schwelle. (18)

Die Karvonen-Formel lautet:

$$\boxed{\text{HF von } x\% = \text{HF-Ruhe} + (\text{HFmax} - \text{HF-Ruhe}) * x\%} \quad (5)$$

$x\%$  = Prozent der HFmax, üblicherweise zwischen 50-70%.

Gerade die Evaluierung des Trainingszustandes ist in der kardialen Rehabilitation von besonderer Bedeutung und die Grundvoraussetzung von therapeutischem Training. Ein bedeutendes Ziel ist die „Wiedereingliederung von Patienten in das Alltagsleben“ und setzt sich zusammen aus bestmöglicher medikamentöser Einstellung, psychologischer Betreuung und körperlicher Belastung. (16) Körperliches Training sollte nur in Abstimmung mit der medikamentösen Therapie durchgeführt werden, da beide Therapieformen miteinander interagieren.  $\beta$ -Blocker führen in Ruhe und bei Belastung zu einer signifikanten Erniedrigung der Herzfrequenz, weshalb die Leistungsdiagnostik zur Festlegung des Trainingsplanes immer unter bestehender medikamentöser Therapie durchgeführt werden sollte, um Über- oder Unterbelastung des Patienten zu verhindern. (12)

### **1.7 Ziel der Studie**

Da es Patienten gibt, welche weder am Fahrrad noch am Laufband belastet werden können, wurden in dieser Studie die Ergebnisse der Fahrrad-, Laufband- und Armkurbelspiroergometrie verglichen. Es soll gezeigt werden, wie weit die Ergebnisse einer Spiroergometrie auf andere Belastungsformen übertragbar sind und ob unterschiedliche Belastungsformen ähnliche maximale und submaximale Kennwerte in der Spiroergometrie ergeben. Den Ausgangswert für die Korrelationsanalysen bildete die Fahrradspiroergometrie, welche einerseits mit dem Laufband und andererseits mit der Armkurbel in Zusammenhang gebracht wurde.

## **2 Material, Probanden und Methoden**

### **2.1 Studienziel**

Diese Studie sollte zeigen, ob signifikante Unterschiede bezüglich maximaler und submaximaler Kennwerte bei der Spiroergometrie am Fahrrad, am Laufband oder an der Handkurbel bei kardialen Patienten nachgefunden werden konnten.

### **2.2 Rekrutierung der Studienteilnehmer**

An der Studie nahmen ausschließlich Patienten im Rahmen ihres Aufenthaltes in der Sonderkrankenanstalt der PV in St. Radegund teil. Die Indikation für die Rehabilitation bestand in der Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit, welche durch die bestehende KHK mit normaler linksventrikulärer Ejektionsfraktion eingeschränkt war. Alle Studienteilnehmer waren männlich (n=10) und im Mittel  $53,3 \pm 8,6$  Jahre alt. Vor deren Aufnahme in die Studie wurde eine Basisuntersuchung durchgeführt. Hierzu zählten: Anamnese, physikalische Untersuchung, Standard-Labor, EKG, Ergometrie, RR-Messung und Echokardiographie zur Bestimmung der Linksventrikelfunktion.

Ausschlusskriterien waren jegliche Lungenerkrankung, Durchblutungsstörungen der Extremitäten, Diabetes mellitus, Erkrankungen des Bewegungsapparates die eine symptomlimitierte Belastung der Herz-Kreislaufsystems unmöglich machten, sowie akut auftretende Erkrankungen und fieberhafte Zustände. Die Herz-Kreislauf-Medikation durfte zwischen den einzelnen Untersuchungen nicht verändert werden. Litten die Probanden an akut auftretenden Erkrankungen und/oder fieberhaften Zuständen so führten diese zum Ausschluss aus der Studie, auch wenn bereits Spiroergometrien durchgeführt worden waren.

Jeglicher Hinweis auf eine belastungsinduzierte Ischämie führte zum Abbruch der Untersuchung, zum Studienausschluss und zur weiteren Abklärung.

## **2.3 Spiroergometrie**

Mindestens ein Tag vor Durchführung der Spiroergometrie wurden die Probanden über den Nutzen, aber auch über mögliche Komplikationen der Untersuchung aufgeklärt und gebeten eine schriftliche Einverständniserklärung zu unterzeichnen.

Drei Stunden vor der Untersuchung wurden die Probanden angehalten, Nikotin, Kaffee und Alkohol sowie übermäßige Anstrengungen zu meiden.

Die jeweiligen Untersuchungen wurden in Intervallen von mindestens 24 Stunden bis maximal 8 Tagen durchgeführt. Es wurde immer mit der Fahrradspiroergometrie begonnen, gefolgt von der Armkurbel- und anschließend der Laufbandspiroergometrie. Die Untersuchungen fanden jeweils am Vormittag zwischen 9 und 10:30 Uhr statt.

Vor der Spiroergometrie wurde Kapillarblut, aus dem Ohrläppchen entnommen, welches zuvor mit Finalgonsalbe<sup>R</sup> hyperämisiert worden war. In Ein-Minuten Intervallen bis zur fünften Nachbelastungsminute wurden Blutlaktatanalysen durchgeführt.

Während der Belastungsuntersuchung atmeten die Probanden durch eine Maske, welche luftdicht über Nase und Mund befestigt war. Es wurde eine offene Spirometrie (Via Sys Healthcare GmbH., Type SBx/CPX, Hoechberg, Deutschland) gemacht und die Analysatoren dieses Gerätes wurden vor jedem Test mit Eichgasen kalibriert. Die Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe, sowie die Ventilation wurden in 15s Intervallen vom Gerät gespeichert.

Sowohl die Fahrrad-, als auch die Armkurbel- und die Laufbandspiroergometrie wurden in Form von Stufentests durchgeführt: Die Belastung wurde am Fahrrad und an der Armkurbel jede Minute um eine konstante Wattanzahl („Stufe“) erhöht. Am Laufband wurde die Steigung jede Minute erhöht.

### **2.3.1 Fahrradspiroergometrie**

Das Belastungsprotokoll der Fahrradspiroergometrie wurde entsprechend den Praxisleitlinien für Ergometrie der Österreichischen Kardiologischen Gesellschaft durchgeführt. (5) Diese Untersuchung wurde an einem elektronisch gebremsten Fahrradergometer (Lode BV, Groningen-The Netherlands, Type 906900) gemacht.

### **2.3.2 Laufbandspiroergometrie**

Das Belastungsprotokoll wurde ursprünglich analog den Empfehlung der österreichischen kardiologischen Gesellschaft mit folgender Formel getestet:

80-150W: 5 km/h, 1 % Steigung/min  
>150W: 5 km/h, 1,5 % Steigung/min(5)

In einer Pilotphase zeigte sich jedoch eine überproportional lange Belastungsdauer, sodass die Formel entsprechend modifiziert werden musste:

80-150 W: 5,5 km/h, 1,5 % Steigung/min  
>150 W: 5,5 km/h, 2 % Steigung/min

Die Belastungstests wurden mit dem Gerät der Firma General Electrics, T2100, durchgeführt.

### **2.3.3 Armkurbelspiroergometrie**

Für die Armkurbelspiroergometrie wurde angenommen, dass die Probanden die Hälfte der Maximalleistung der Fahrradspiroergometrie erzielen sollten. Entsprechend den Richtlinien der österreichischen kardiologischen Gesellschaft wurde die Leistungssteigerung pro Minute festgelegt. (5)

Die Armkurbelspiroergometrie (Lode B.V., Groningen-The Netherlands, Type 917900) wurde mit 20 W begonnen und bis zur Maximalbelastung mit jener Wattanzahl gesteigert.

### **2.3.4 Abbruchkriterien**

Zum Abbruch und somit zum Studienausschluss der Probanden kam es bei jeglichen pathologischen EKG-Veränderungen, Auftreten von Hypertonie mit einem Blutdruck > 240/120 mmHg, sowie bei Schwäche- und Schwindelgefühl während der Belastungsuntersuchungen.

### **2.3.5 Überwachung der Probanden**

Unmittelbar vor jeder Belastungsuntersuchung wurde der Blutdruck nach der indirekten Methode von Riva Rocci gemessen und ein 12-Kanal-EKG (General Electrics, Wisconsin, USA, Type 2022685-001) aufgezeichnet. Während der Untersuchungen wurden von einem Arzt, der ständig anwesend war, Blutdruck, Herzfrequenz und EKG kontrolliert.

## **2.4 Statistik**

Die Schwellen und Knickpunkte wurden mit der Software proSport Database 1997-2008 Version 1.1274, proJEKT (Schlemmer) durch lineare Regressions-Knickpunkt-Analyse berechnet.

Die aerobe Schwelle wurde durch den ersten Laktat Turn Point (LTP1) definiert.

Zur Bestimmung der anaeroben Schwelle wurden der LTP2, der HRTP und die VT2 herangezogen.

Die Leistung in Watt am Laufband wurde in dieser Studie automatisch nach der Formel der Firma Jaeger (Referenz Handbuch Ausgabe 2003, S6) aus der Geschwindigkeit und Steigung berechnet:

Formel:  $W = v \cdot BW \cdot (2,05 + G \cdot 0,29) - 0,6 \cdot BW - 151$  / 10,5

v: Geschwindigkeit (km/h); BW: Körpergewicht (kg); G: Steigung %

Alle Parameter wurden mit dem Statistikprogramm SigmaStat<sup>®</sup> for Windows Version 3.5 (Systat Software, Inc., San José, Kalifornien, USA) auf Normalverteilung geprüft. Bei gegebener Normalverteilung wurden die Parameter mit parametrischer Varianzanalyse ausgewertet. Konnte eine Normalverteilung nicht nachgewiesen werden, so wurde eine nicht-parametrische Varianzanalyse durchgeführt. Die Korrelationskoeffizienten wurden mit dem Test nach „Pearson“ berechnet und auf signifikanten Zusammenhang geprüft.

Das Signifikanzlevel wurde bei  $p < 0,05$  angenommen.

Mittelwerte und  $\pm$  Standardabweichungen sind in Tabellen dargestellt.

Die Diagramme und Tabellen dieser Diplomarbeit wurden mittels Excel 2007 erstellt.

## 3 Ergebnisse – Resultate

### 3.1 Maximale und submaximale Kennwerte bei unterschiedlichen Belastungen

Die Studienteilnehmer (n=10) wurden während ihres Aufenthaltes in der PV St. Radegund rekrutiert. Sie waren männlich, im Alter von 53±9 Jahren. Ihre durchschnittliche Größe lag bei 178±8 cm bei einem mittleren Gewicht von 86±19 kg. Der Grund des stationären Aufenthaltes der Probanden war die KHK bei normaler linksventrikulärer Ejektionsfraktion.

Im Folgenden werden die Daten der Spiroergometrien beschrieben.

#### 3.1.1 Vergleich von kardiorespiratorischen und metabolischen Parametern

Die kardiorespiratorischen und metabolischen Parameter sind in Tabellen 1-4 abgebildet. Die einzelnen Messergebnisse der drei Belastungstests sind darin vergleichend dargestellt.

##### 3.1.1.1 In Ruhe

Tabelle 1: Vergleich der kardiorespiratorischen und metabolischen Parameter in Ruhe.

	Fahrrad		Laufband		Armkurbel	
	Mittelwert	Std Abw.	Mittelwert	Std Abw.	Mittelwert	Std Abw.
VO <sub>2</sub> (l/min)	0,33	0,07	0,40	0,01	0,34	0,09
VCO <sub>2</sub> (l/min)	0,28	0,05	0,33	0,07	0,27	0,07
VE (l/min)	13	2,4	14	3,0	12	3,1
RQ	0,84	0,10	0,83	0,07	0,82	0,08
HF (bpm)	62	4,37	67	8,97	59	6,30
VO <sub>2</sub> /HF (ml)	5,38	1,32	6,05	1,47	5,75	1,52
VO <sub>2</sub> /kg (ml/min/kg)	3,89	0,66	4,73	1,30	4,05	1,34
La (mmol/l)	1,33	0,34	1,34	0,66	1,30	0,66

In Ruhe waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen.

### 3.1.1.2 An der aeroben Schwelle

Tabelle 2: Vergleich der kardiorespiratorischen und metabolischen Parameter an der aeroben Schwelle.

	Fahrrad		Laufband		Armkurbel	
	Mittelwert	Std Abw.	Mittelwert	Std Abw.	Mittelwert	Std Abw.
VO <sub>2</sub> (l/min)	1,09* <sup>x</sup>	0,27	1,83* <sup>#</sup>	0,25	0,86 <sup>#x</sup>	0,14
VCO <sub>2</sub> (l/min)	0,93* <sup>x</sup>	0,23	1,70* <sup>#</sup>	0,27	0,78 <sup>#x</sup>	0,16
VE (l/min)	32*	5,7	54* <sup>#</sup>	7,6	28 <sup>#</sup>	5,6
RQ	0,85*	0,05	0,93*	0,09	0,90	0,07
HF (bpm)	90*	8	112* <sup>#</sup>	13	89 <sup>#</sup>	10
VO <sub>2</sub> /HF (ml)	12,2*	3,8	16,6* <sup>#</sup>	3,8	9,8 <sup>#</sup>	1,7
VO <sub>2</sub> /kg (ml/min/kg)	12,71* <sup>x</sup>	2,37	21,63* <sup>#</sup>	2,70	10,17 <sup>#x</sup>	1,65
La (mmol/l)	1,9*	0,6	2,7*	1,0	2,2	0,6
P (W)	75* <sup>x</sup>	17	169* <sup>#</sup>	36	39 <sup>#x</sup>	8
%HF (%)	64,6*	3,5	76,8* <sup>#</sup>	7,4	63,3 <sup>#</sup>	5,2
%P (%)	39,2*	7,0	49,9*	7,2	40,5	7,0
%VO <sub>2</sub> (%)	47,7*	8,0	71,4* <sup>#</sup>	6,9	50,7 <sup>#</sup>	8,5

Signifikant unterschiedlich (\*p<0,05 Fahrrad-Laufband, <sup>#</sup>p<0,05 Laufband-Armkurbel, <sup>x</sup>p<0,05 Fahrrad-Armkurbel)

### 3.1.1.3 An der anaeroben Schwelle

Tabelle 3: Vergleich der kardiorespiratorischen und metabolischen Parameter an der anaeroben Schwelle.

	Fahrrad		Laufband		Armkurbel	
	Mittelwert	Std Abw.	Mittelwert	Std Abw.	Mittelwert	Std Abw.
VO <sub>2</sub> (l/min)	1,7* <sup>x</sup>	0,27	2,39* <sup>#</sup>	0,28	1,28 <sup>#x</sup>	0,13
VCO <sub>2</sub> (l/min)	1,71* <sup>x</sup>	0,29	2,39* <sup>#</sup>	0,37	1,36 <sup>#x</sup>	0,16
VE (l/min)	55*	7,6	75* <sup>#</sup>	13,7	47 <sup>#</sup>	8,2
RQ	1,01	0,07	1 <sup>#</sup>	0,07	1,06 <sup>#</sup>	0,06
HF (bpm)	121* <sup>x</sup>	15	135* <sup>#</sup>	15	113 <sup>#x</sup>	19
VO <sub>2</sub> /HF (ml)	14,2* <sup>x</sup>	3	18* <sup>#</sup>	3,4	11,6 <sup>#x</sup>	1,9
VO <sub>2</sub> /kg (ml/min/kg)	20,09* <sup>x</sup>	3,59	28,28* <sup>#</sup>	4,11	15,33 <sup>#x</sup>	2,94
La (mmol/l)	4,2	1,4	4,8	1,2	4,4	1
P (W)	131* <sup>x</sup>	24	263* <sup>#</sup>	45	72 <sup>#x</sup>	36
%HF (%)	86,4* <sup>x</sup>	4,3	91,8* <sup>#</sup>	4,8	79,7 <sup>#x</sup>	5,3
%P (%)	69,9	14,1	77,4	7,1	72,7	4,9
%VO <sub>2</sub> (%)	74,8*	5,5	93,2* <sup>#</sup>	10,2	75,7 <sup>#</sup>	9,6

Signifikant unterschiedlich (\*p<0,05 Fahrrad-Laufband, <sup>#</sup>p<0,05 Laufband-Armkurbel, <sup>x</sup>p<0,05 Fahrrad-Armkurbel)

### 3.1.1.4 Bei Maximalbelastung

Tabelle 4: Vergleich der kardiorespiratorischen und metabolischen Parameter bei maximaler Belastung

	Fahrrad		Laufband		Armkurbel	
	Mittelwert	Std Abw.	Mittelwert	Std Abw.	Mittelwert	Std Abw.
VO <sub>2</sub> (l/min)	2,27* <sup>x</sup>	0,31	2,57* <sup>#</sup>	0,26	1,72* <sup>#x</sup>	0,23
VCO <sub>2</sub> (l/min)	2,58 <sup>x</sup>	0,38	2,75 <sup>#</sup>	0,37	2,00* <sup>#x</sup>	0,23
VE (l/min)	84	11,3	91 <sup>#</sup>	15,2	78 <sup>#</sup>	10,7
RQ	1,14*	0,08	1,07* <sup>#</sup>	0,07	1,17 <sup>#</sup>	0,07
HF (bpm)	140	15,78	147	18,43	141	18,24
VO <sub>2</sub> /HF (ml)	16,40* <sup>x</sup>	3,16	17,82* <sup>#</sup>	3,34	12,29* <sup>#x</sup>	1,92
VO <sub>2</sub> /kg (ml/min/kg)	26,94* <sup>x</sup>	4,84	30,61* <sup>#</sup>	5,28	20,45* <sup>#x</sup>	4,19
La (mmol/l)	7,7	2,1	7,4	1,8	8,1	1,3
P (W)	191* <sup>x</sup>	29	339* <sup>#</sup>	52	99* <sup>#x</sup>	9
%P (%)			182,6 <sup>#</sup>	42,3	52,4 <sup>#</sup>	6,2
%VO <sub>2</sub> max (%)			114 <sup>#</sup>	8,3	66,9 <sup>#</sup>	8,7

Signifikant unterschiedlich (\*p<0,05 Fahrrad-Laufband, <sup>#</sup>p<0,05 Laufband-Armkurbel, <sup>x</sup>p<0,05 Fahrrad-Armkurbel)

### 3.1.1.5 Leistung (P) im Stufentest

In allen Stufen konnte ein signifikanter Unterschied der Leistung von den drei Belastungsformen nachgewiesen werden.

Die %Pmax an der aeroben Schwelle zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen dem Fahrrad und dem Laufband. (Abbildung 5) Die %Pmax lag am Fahrrad bei  $38\pm 5\%$ , am Laufband bei  $59\pm 8\%$  und an der Armkurbel bei  $36\pm 4\%$ . An der anaeroben Schwelle konnte kein signifikanter Unterschied der drei Belastungsformen nachgewiesen werden. (Abbildung 3) Die %Pmax entsprach am Fahrrad  $74\pm 14\%$ , am Laufband  $77\pm 14\%$  und an der Armkurbel  $73\pm 10\%$  der jeweiligen Gesamtleistung. Wie in Abbildung 4 dargestellt, erbrachten die Patienten am Laufband die höchste und an der Armkurbel die niedrigste Leistung. Diese betrug am Fahrrad  $191\pm 29\text{W}$ , am Laufband  $339\pm 52\text{W}$  und an der Armkurbel  $99\pm 9\text{W}$ . Bezüglich der Maximalleistung im Vergleich zum Fahrrad lag diese an der Armkurbel bei  $52\pm 6\%$  und am Laufband bei  $183\pm 42\%$ .

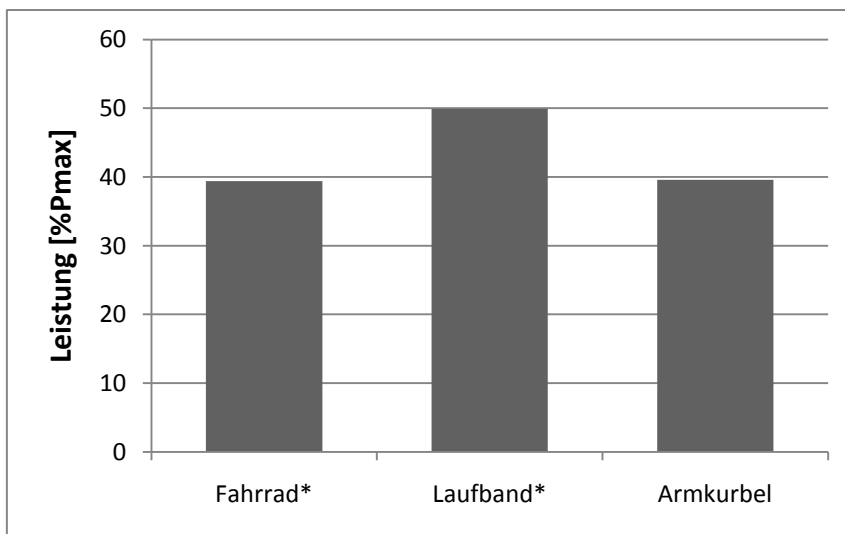


Abbildung 3: %Pmax an der aeroben Schwelle am Fahrrad, Laufband und Armkurbel

Signifikant unterschiedlich (\* $p < 0,05$  Fahrrad-Laufband, # $p < 0,05$  Laufband-Armkurbel, \* $p < 0,05$  Fahrrad-Armkurbel)

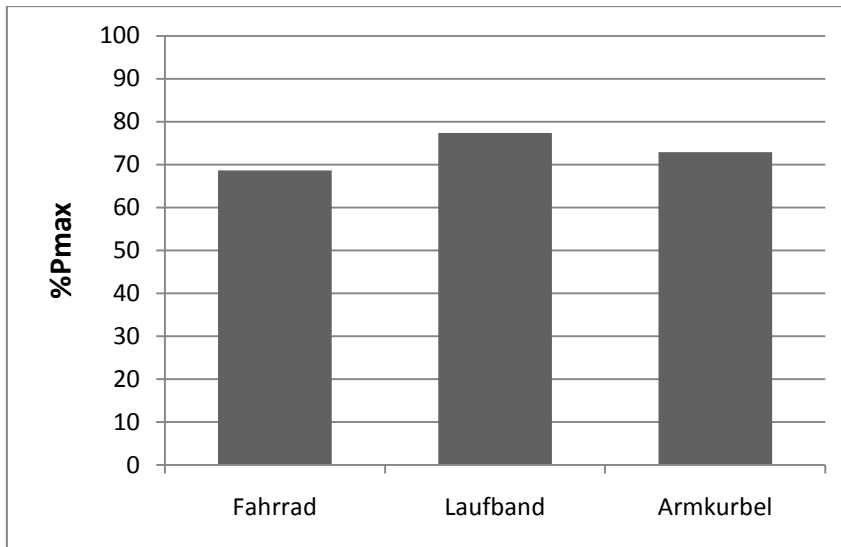


Abbildung 4: %Pmax an der anaeroben Schwelle von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.

An der anaeroben Schwelle war kein signifikanter Unterschied nachweisbar.

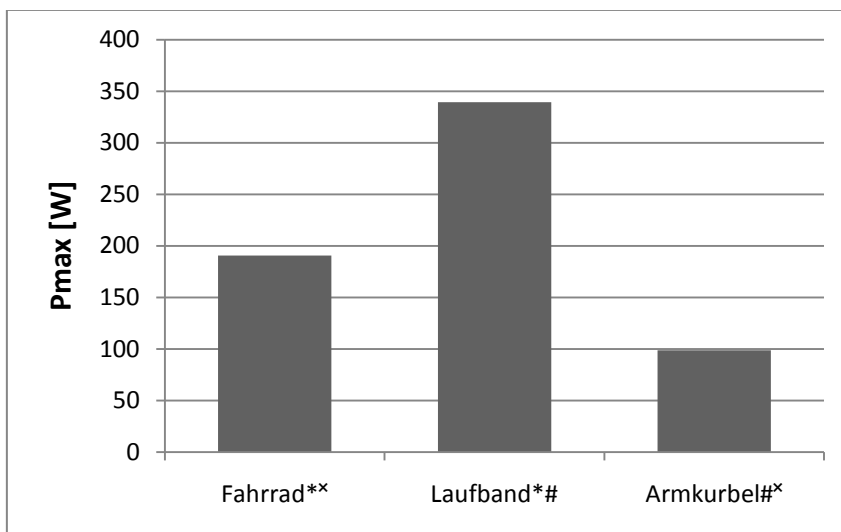


Abbildung 5: Pmax von Fahrrad, Laufband und Armkurbel

Signifikant unterschiedlich (\* $p < 0,05$  Fahrrad-Laufband, # $p < 0,05$  Laufband-Armkurbel,  $x p < 0,05$  Fahrrad-Armkurbel)

Durch Korrelationsanalysen konnte gezeigt werden, dass kein signifikanter Zusammenhang der Leistung vom Laufband-, Armkurbel- und Fahrradergometer bestand. Die Diagramme zeigen an der aeroben, an der anaeroben Schwelle und bei Maximalbelastung jeweils die Korrelationsanalyse von Fahrrad zu Laufband und die von Fahrrad zu Armkurbel. (Abbildung 8-10)

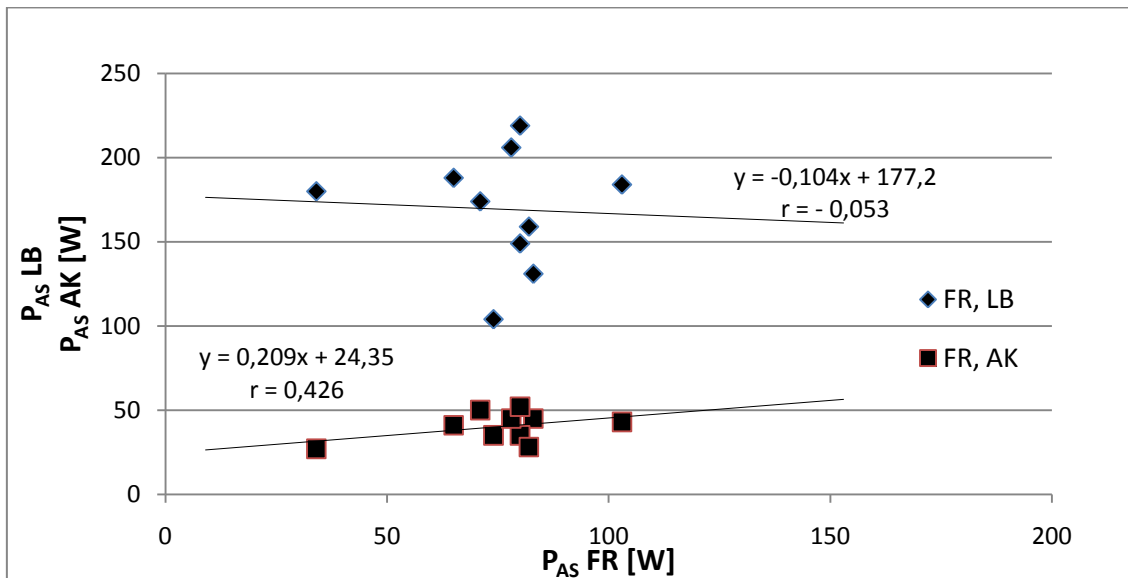


Abbildung 6: Korrelation von P am Fahrrad und P am Laufband und Armkurbel an der aeroben Schwelle.

signifikanter Zusammenhang: \* $p < 0,05$

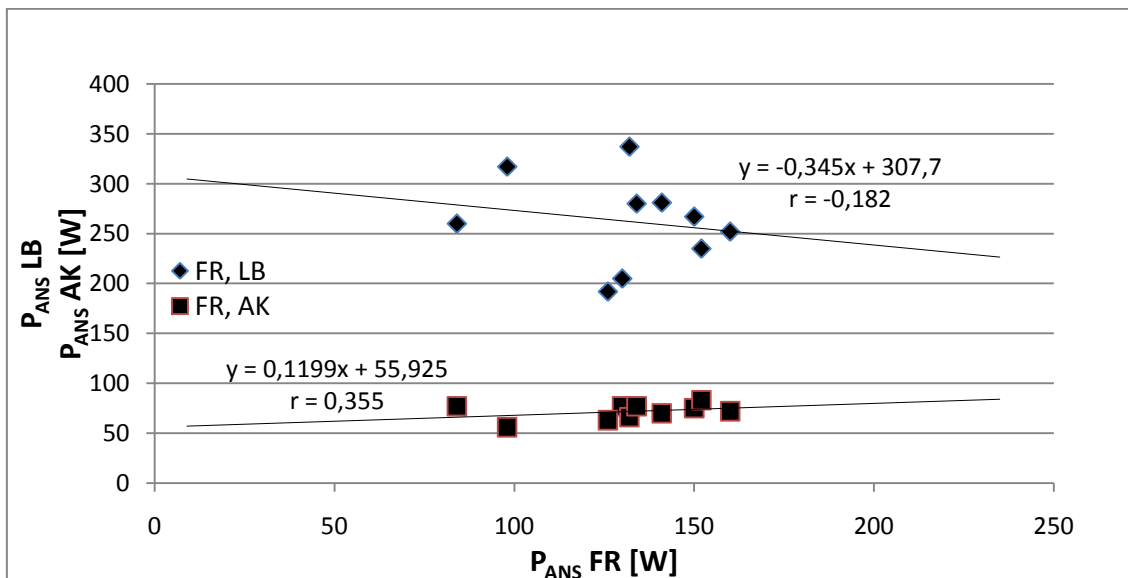


Abbildung 7: Korrelation vom P am Fahrrad und P am Laufband und Armkurbel an der anaeroben Schwelle.

signifikanter Zusammenhang: \* $p < 0,05$

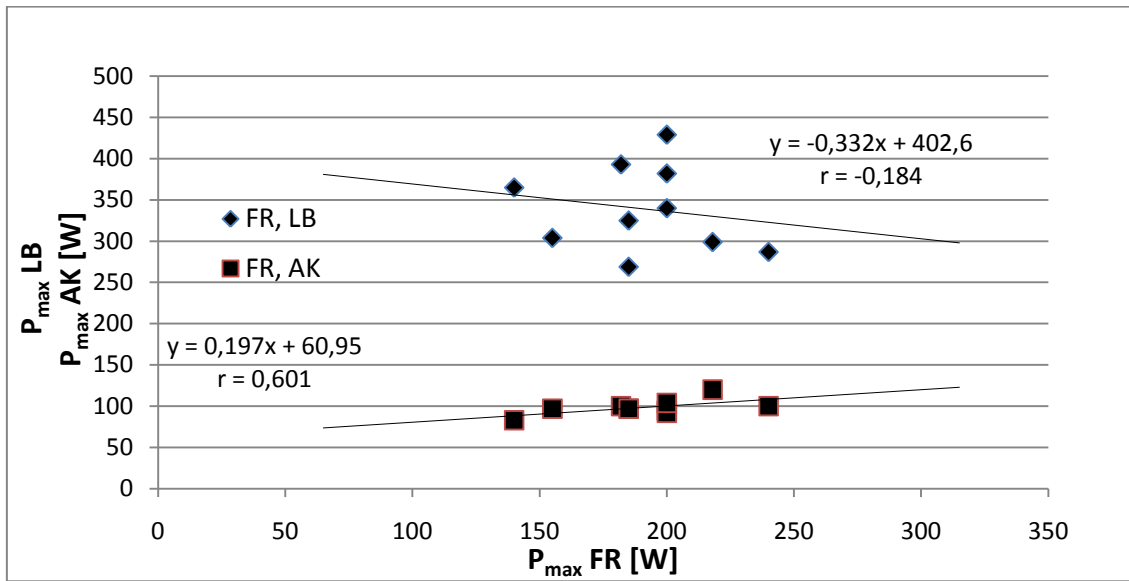


Abbildung 8: Korrelation der Pmax von Fahrrad und der Pmax von Laufband und Armkurbel.

signifikanter Zusammenhang:  $*p < 0,05$

### 3.1.2 Verlauf von kardialen und respiratorischen Parametern bei stufenförmig ansteigenden Belastungstests

#### 3.1.2.1 Herzfrequenzkurve

Abbildung 9 zeigt den Verlauf der Herzfrequenz (HF) bei stufenförmig ansteigender Belastung am Fahrrad, Laufband und an der Armkurbel. Die Probanden hatten am Laufband die jeweils höchste und an der Armkurbel die niedrigste HF.

In Ruhe und bei Maximalbelastung konnte in allen drei Belastungsformen kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. (Tabelle 1, Tabelle 4)

Die HF der Laufbandspiroergometrie war an der aeroben- und an der anaeroben Schwelle signifikant höher, als am Fahrrad und an der Armkurbel ( $p < 0,05$ ). An der anaeroben Schwelle war die HF bei allen drei Belastungsformen signifikant unterschiedlich ( $p < 0,05$ ).

(Abbildung 9)

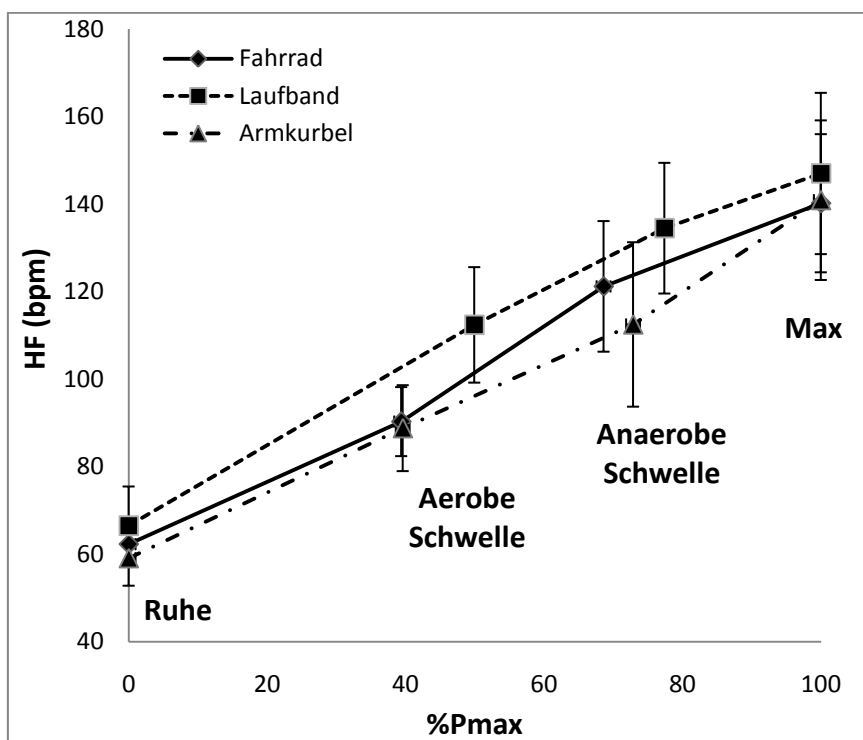


Abbildung 9: Vergleich des Verlaufs der HF im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel

Korrelationsanalysen zwischen der Laufband- und der Fahrradspiroergometrie zeigten einen signifikanten Zusammenhang in allen Stufen. Der Korrelationskoeffizient betrug an der aeroben Schwelle 0,774 (Abbildung 10), an der anaeroben Schwelle 0,802 (Abbildung 11) und bei Maximalbelastung 0,822 (Abbildung 12).

Für die Armkurbel konnte ein signifikanter Zusammenhang bezüglich der HF an der anaeroben Schwelle und bei Maximalbelastung gezeigt werden. Der Korrelationskoeffizient betrug an der aeroben Schwelle 0,621 (Abbildung 10) an der anaeroben Schwelle 0,841 (Abbildung 11) und bei Maximalbelastung 0,944. (Abbildung 12).

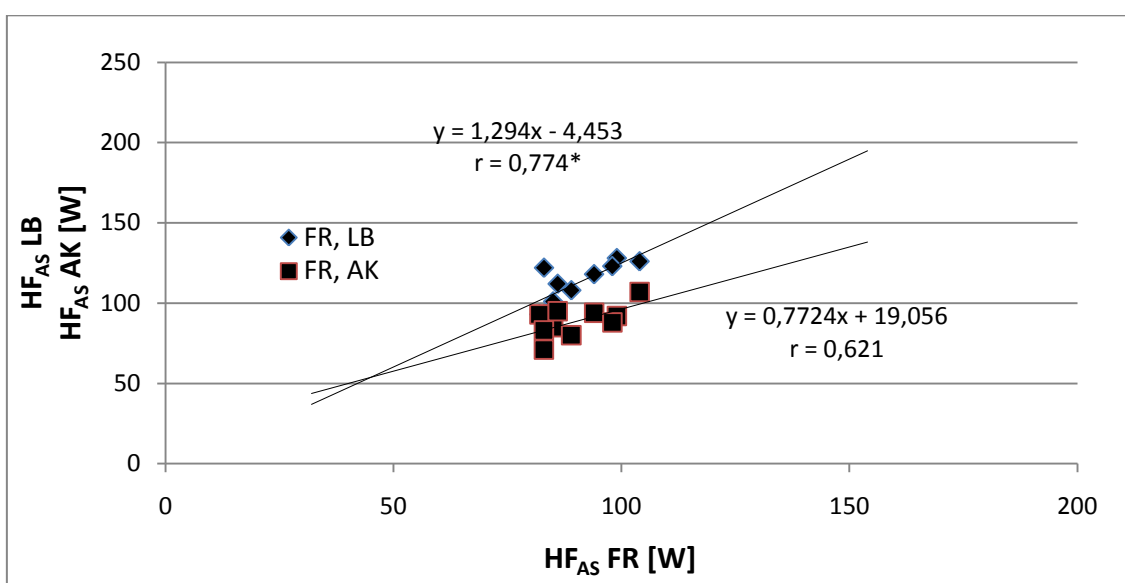


Abbildung 10: Korrelation der HF von Fahrrad zu Laufband und Armkurbel an der aeroben Schwelle.

signifikanter Zusammenhang: \* $p < 0,05$

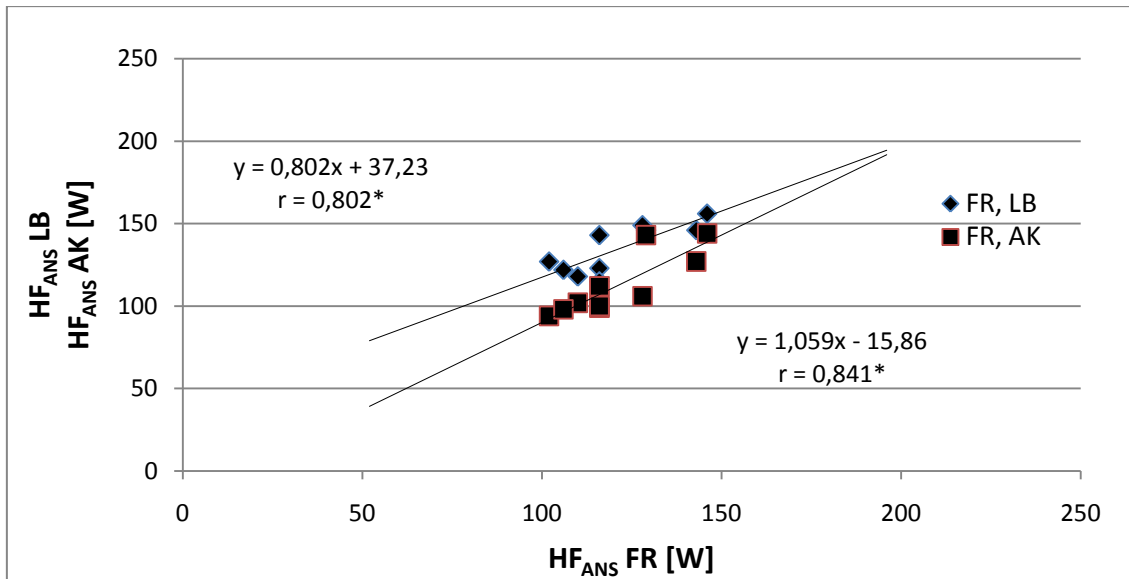


Abbildung 11: Korrelation der HF von Fahrrad zu Laufband und Armkurbel an der anaeroben Schwelle.

signifikanter Zusammenhang: \*p<0,05

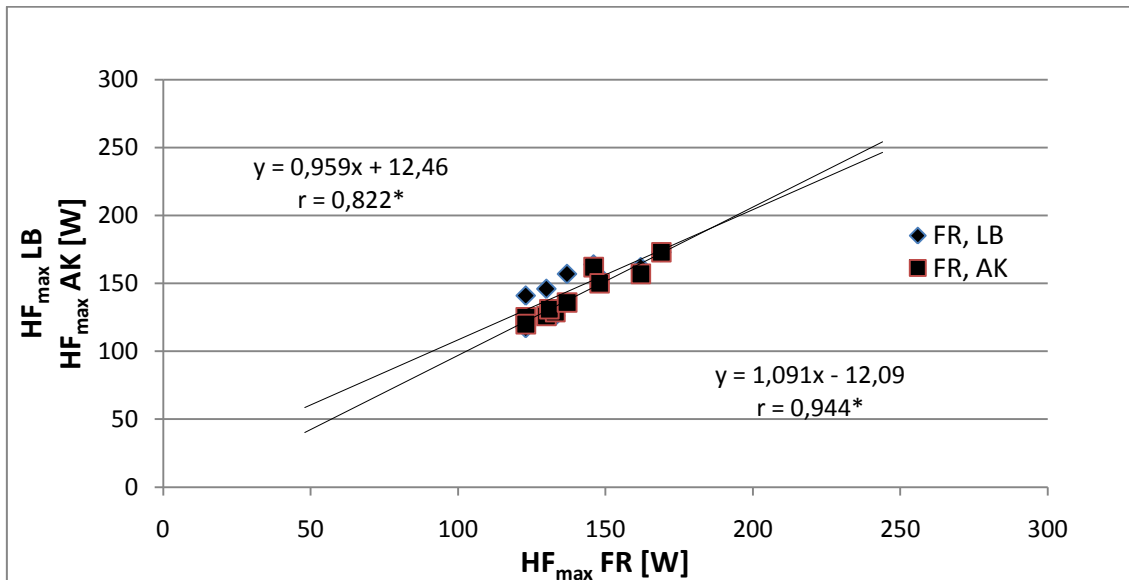


Abbildung 12: Korrelation der HF von Fahrrad zu Laufband und Armkurbel bei Maximalbelastung.

signifikanter Zusammenhang: \*p<0,05

Tabelle 5 zeigt die Trainings-HF berechnet nach der Formel von Karvonen. An der HF50 zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen dem Laufband und der Armkurbel. An der HF60, sowie an der HF70 unterschied sich das Laufband von den beiden anderen Ergometern signifikant.

	Fahrrad	Laufband	Armkurbel
HF50 (bpm)	101±8	107±12 <sup>#</sup>	96±12 <sup>#</sup>
HF60 (bpm)	109±10*	115±13* <sup>#</sup>	108±12 <sup>#</sup>
HF70 (bpm)	116±11*	123±14* <sup>#</sup>	116±14 <sup>#</sup>

**Tabelle 5: Trainings-HF nach Karvonen.**

Signifikant unterschiedlich (\*p<0,05 Fahrrad-Laufband, <sup>#</sup>p<0,05 Laufband-Armkurbel, \*p<0,05 Fahrrad-Armkurbel)

### 3.1.2.2 Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>) im Stufentest

In Abbildung 13 ist der Verlauf der VO<sub>2</sub> vom Fahrrad, Laufband und der Armkurbel zu sehen. Abgesehen von den Ruhewerten konnte an allen Parametern ein signifikanter Unterschied bezüglich der drei Belastungsformen nachgewiesen werden. Während die aerobe Schwelle bei 48±8%VO<sub>2</sub>max am Fahrrad lag, betrug sie am Laufband 71±7%VO<sub>2</sub>max und an der Armkurbel 51±9%VO<sub>2</sub>max. Die anaerobe Schwelle war am Fahrrad bei 75±6%, am Laufband bei 93±10% und an der Armkurbel bei 76±10% der VO<sub>2</sub>max.

Die VO<sub>2</sub>max/kg betrug am Laufband: 30,61±5,28ml/min/kg, am Fahrrad: 26,94±4,84ml/min/kg und an der Armkurbel: 20,45±4,19ml/min/kg.

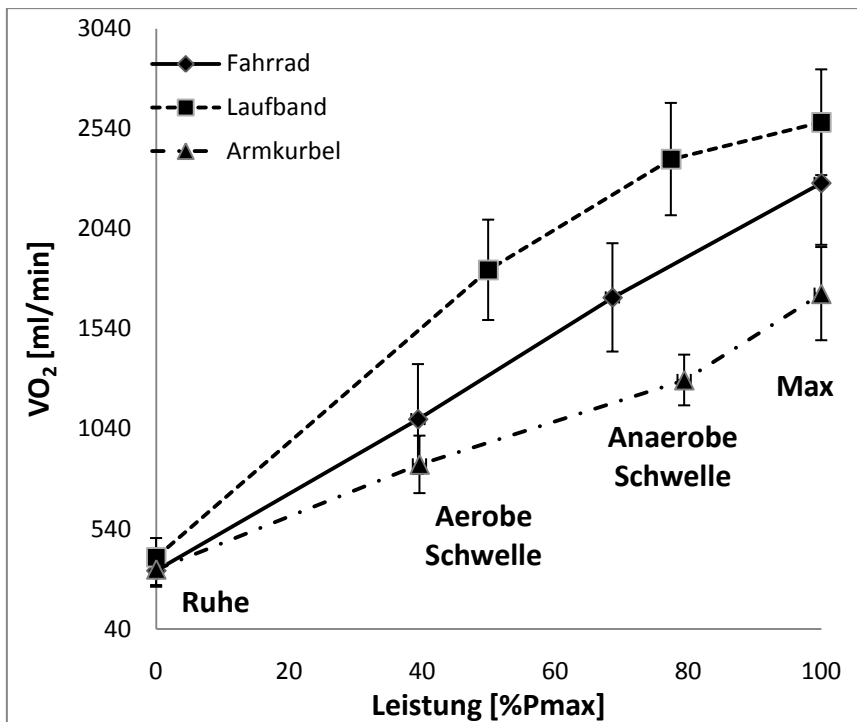


Abbildung 13: Vergleich des Verlaufs der VO<sub>2</sub> im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.

Die Korrelationsanalyse der  $VO_2$ max ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Laufband und dem Fahrrad. Der Korrelationskoeffizient lag bei 0,886.

Hingegen war der Zusammenhang zwischen Fahrrad und Armkurbel nicht signifikant und der Korrelationskoeffizient betrug 0,470. (Abbildung 14)

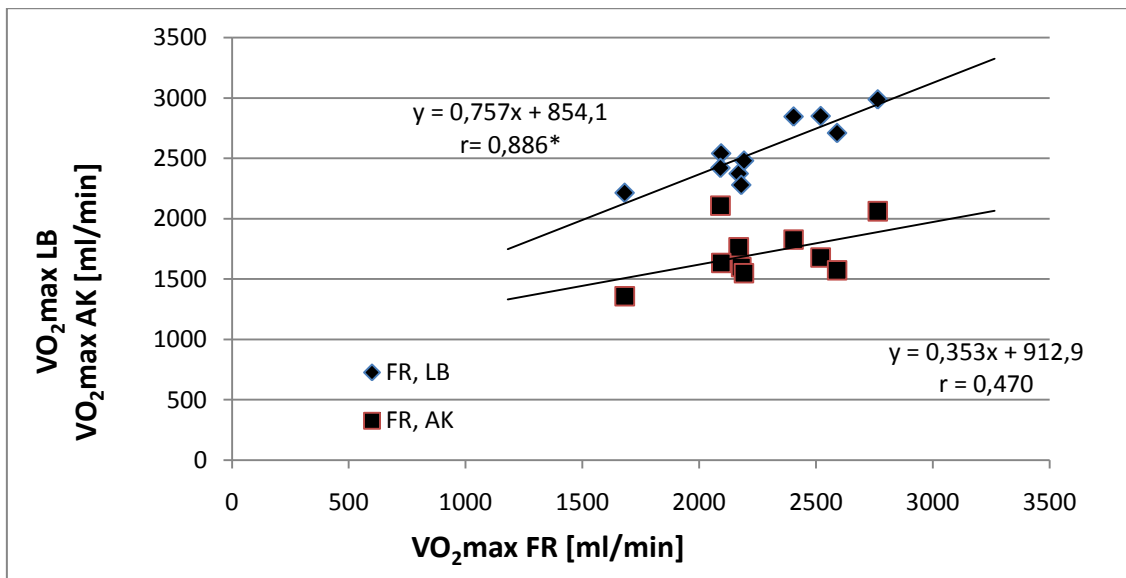


Abbildung 14: Korrelation der  $VO_2$ max von Fahrrad zu Laufband und Armkurbel.

signifikanter Zusammenhang:  $*p < 0,05$

Die  $\text{VO}_2\text{max}$  von Laufband und Armkurbel wurden jeweils durch die  $\text{VO}_2\text{max}$  vom Fahrrad dividiert ( $=\%\text{VO}_2\text{max}$ ), um den prozentuellen Unterschied zwischen den verschiedenen Belastungsformen zu zeigen. Die  $\%\text{VO}_2\text{max}$  betrug für das Laufband  $114\pm 8,3\%$  und für die Armkurbel  $66,9\pm 8,3\%$ . (Tabelle 4) Die Korrelation dieser beiden Werte ergab keinen signifikanten Zusammenhang. (Abbildung 15)

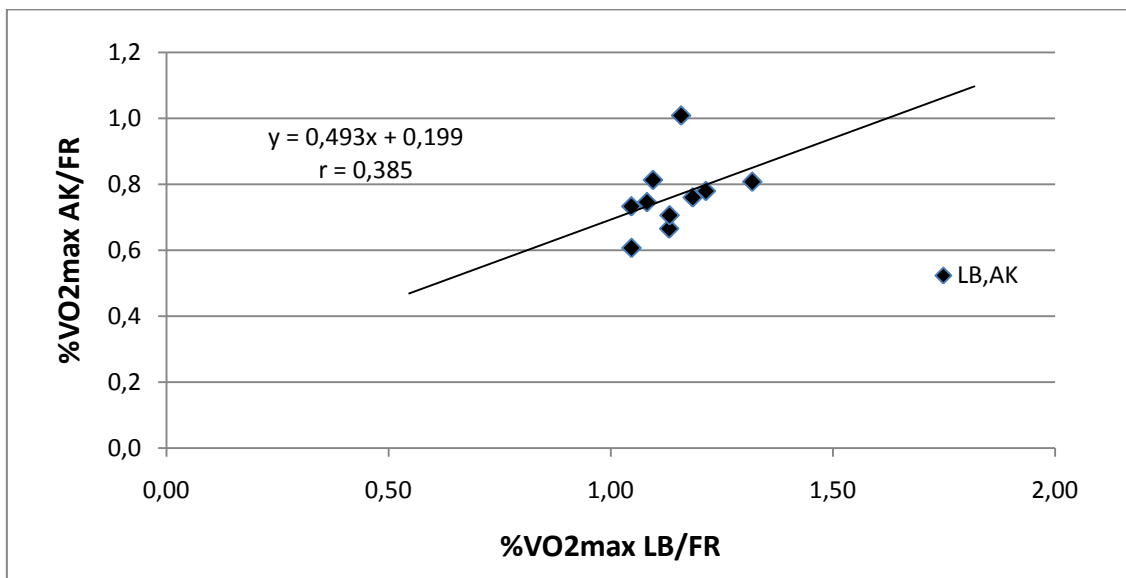


Abbildung 15: Korrelation der  $\%\text{VO}_2\text{max}$  von Laufband/Fahrrad zu Armkurbel/Fahrrad.

signifikanter Zusammenhang:  $*p < 0,05$

### 3.1.2.3 Kohlendioxidabgabe ( $VCO_2$ ) im Stufentest

Abbildung 16 stellt den Verlauf der  $VCO_2$  bei der Spiroergometrie am Fahrrad, Laufband und Armkurbel dar. An der aeroben- und an der anaeroben Schwelle war ein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Belastungsuntersuchungen nachweisbar ( $p < 0,05$ ). An der maximalen  $VCO_2$  bestand ein signifikanter Unterschied zwischen der Armkurbel und den beiden anderen Belastungsformen.

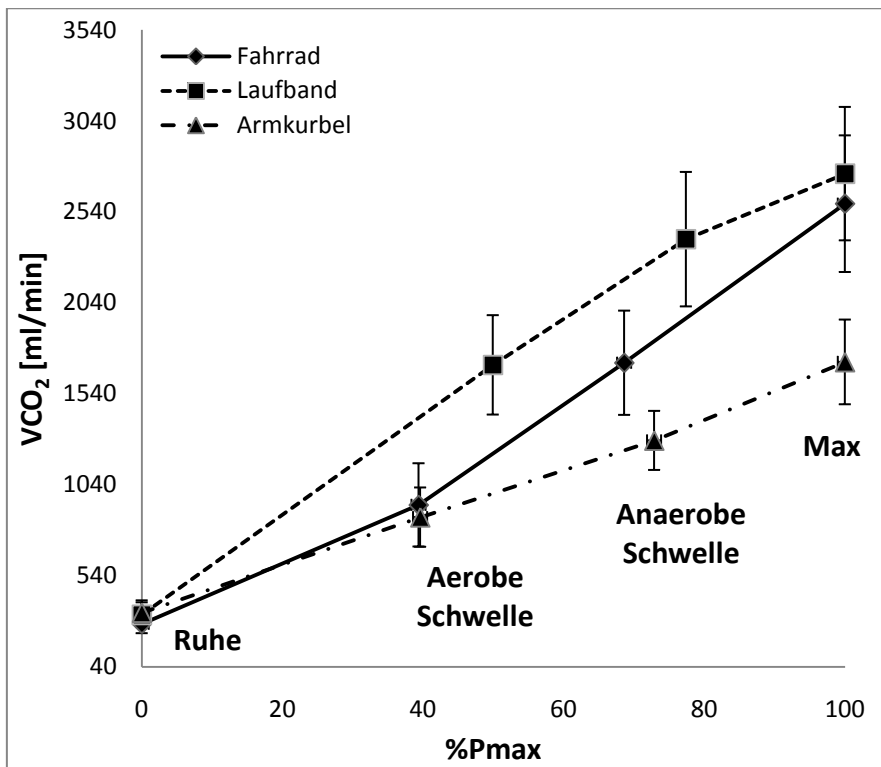


Abbildung 16: Vergleich des Verlaufs der  $VCO_2$  im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel

### 3.1.2.4 Ventilation (VE) im Stufentest

In Abbildung 17 ist der Verlauf der VE bei der Spiroergometrie am Fahrrad, Laufband und Armkurbel dargestellt.

Während der gesamten Untersuchung war ein signifikanter Unterschied zwischen dem Laufband und der Armkurbel nachweisbar ( $p < 0,05$ ). Zusätzlich wurde an der aeroben-, sowie an der anaeroben Schwelle ein signifikanter Unterschied von Laufband und Fahrrad beobachtet ( $p < 0,05$ ). Die höchsten Werte der VE wurden in allen Stufen am Laufband gemessen.

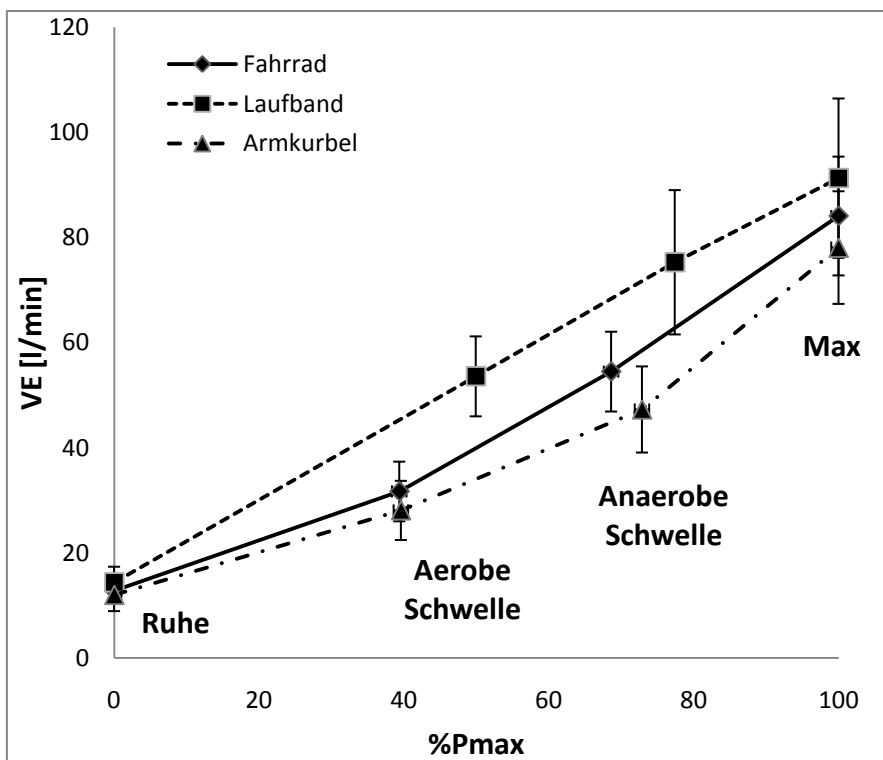


Abbildung 17: Vergleich des Verlaufs der VE im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.

### 3.1.2.5 Sauerstoffpuls ( $O_2/HF$ ) im Stufentest

Abbildung 18 zeigt den Verlauf vom  $O_2/HF$  bei der Spiroergometrie am Fahrrad, Armkurbel und Laufband.

An der aeroben Schwelle war der  $O_2/HF$  am Laufband signifikant höher im Vergleich zu den beiden anderen Belastungsformen ( $p < 0,05$ ). An der anaeroben Schwelle und bei Maximalbelastung konnte ein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Belastungsformen nachgewiesen werden ( $p < 0,05$  für alle Tests).

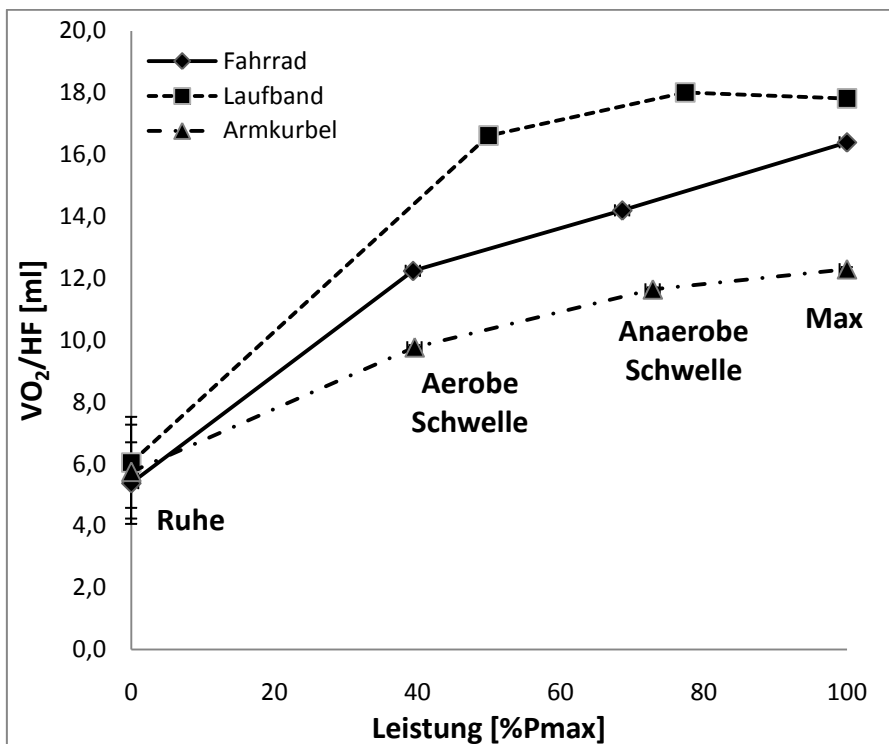


Abbildung 18: Vergleich des Verlaufs von  $VO_2/HF$  im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.

### 3.1.2.6 Laktatleistungskurve

In Abbildung 19 ist der Verlauf der Blutlaktatkonzentration (La) während der Stufentests am Fahrrad, Laufband und an der Armkurbel abgebildet.

Nur an der aeroben Schwelle konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Laufband und Fahrrad nachgewiesen werden ( $p < 0,05$ ).

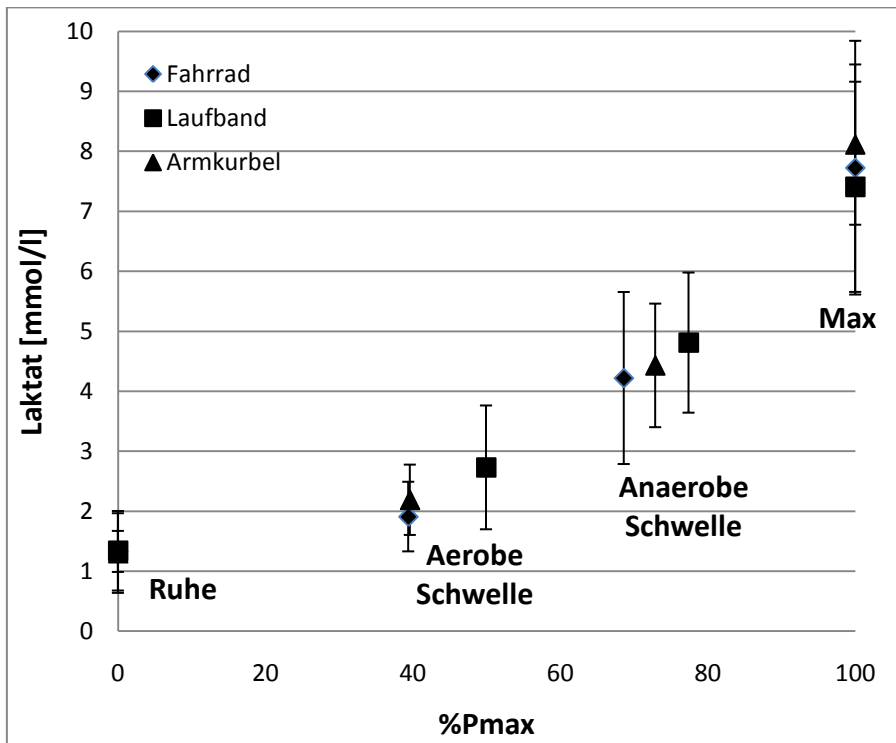


Abbildung 19: Vergleich des Verlaufs vom La im Stufentest von Fahrrad, Laufband und Armkurbel.

Die Korrelationsanalysen zeigten keinen signifikanten Zusammenhang bei stufenförmig ansteigender Belastung vom Fahrrad zum Laufband und vom Fahrrad zur Armkurbel.

## **4 Diskussion**

Die Erkenntnis dieser Studie lag in der Unmöglichkeit von der Leistung am Fahrrad auf die mögliche Leistung am Laufband bzw. an der Armkurbel zu schließen.

Es war hingegen möglich die Herzfrequenz vom Fahrrad auf das Laufband sowie auf die Armkurbel umzurechnen. Daher konnte man die Trainingsherzfrequenz für das Laufband und die Armkurbel aus der Fahrradspiroergometrie berechnen.

### **4.1 Stufentest**

#### **4.1.1 Leistung**

Die Angabe der Leistung in Watt zeigte, dass in allen Stufen ein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Belastungsformen bestand. Analog den Ergebnissen von Wasserman et al., betrug die Maximalleistung an der Armkurbel 50-70% der des Fahrrades. (19) Bezüglich der Maximalleistung in Watt konnte für das Laufband keine Publikation gefunden werden, da die Leistungsangabe in der Literatur mit Geschwindigkeit und Steigung beschrieben wurden.

Basierend auf den signifikanten Unterschieden bezüglich der Leistung, sollte nicht dieselbe Wattanzahl für verschiedene Trainingsgeräte verschrieben werden, da dies sonst zu einer Über- bzw. Unterbelastung des kardialen Patienten führen würde. Aufgrund der fehlenden signifikanten Zusammenhänge der Leistung zwischen Fahrrad, Armkurbel und Laufband war es auch nicht möglich die Leistung von einer Belastungsform auf eine andere umzurechnen.

Für den beträchtlichen Unterschied der Leistung zwischen der Fahrrad-, Laufband- und der Armkurbelspiroergometrie, welcher in allen Stufen gezeigt werden konnte, gab es mehrere Erklärungen: Einerseits kam diese Differenz durch die jeweiligen Belastungsformen im Alltag zu Stande. Im Vergleich zur oberen wird die untere Extremität bedeutend weniger beansprucht. Diese Erklärung wurde mit den Ergebnissen aus der Studie von Roels et al. bestätigt. Auch sie kamen zum Schluss, dass die Leistungsfähigkeit wesentlich von der Trainingsart und den dadurch hervorgerufenen Adaptionen der Oberkörper- und Unterkörpermuskulatur abhängig ist. (20)

Ein weiterer Aspekt war die Art der Muskelkontraktion und der jeweils überwiegender Anteil der Muskelfasern, welche mechanisch durch die Art des Ergometers bestimmt wurden. Während am Fahrrad und an der Armkurbel bei vorausgesetzt konstanter Drehzahl, die Leistung nur durch stärkeres Treten gesteigert werden konnte, kam es am Laufband bei zunehmender Belastung zu Bewegungsadaptation der Probanden, wie eine Veränderung der Schrittlänge und Beugung im Kniegelenk. (21)

Hinzukommend ist die unterschiedliche kardiovaskuläre und respiratorische Beanspruchung beim Fahrradfahren, Armkurbeln bzw. beim Laufen. (8,21)

Zusätzlich darf man nicht außer Acht lassen, dass der Stichprobenumfang in dieser Studie sehr klein war und die Ergebnisse dieser Studie beeinflusst haben könnte.

Der Leistungsvergleich vom Fahrrad zum Laufband ist mit Vorsicht zu betrachten, da die Angabe der Leistung in Watt am Laufband ungenau zu sein scheint. Zur Berechnung der Wattleistung aus Steigung und Geschwindigkeit stehen mehrere Formeln (nach: Bruce, ATS, Jaeger) zur Verfügung. Es konnte keine Publikation bezüglich einer allgemein gültigen Umrechnungsformel gefunden werden. Die Leistung in Watt am Laufband wurde in dieser Studie automatisch nach der Formel der Firma Jaeger berechnet.

#### **4.1.2 Herzfrequenzverlauf**

Bei Maximalbelastung wurde kein signifikanter Unterschied der HF bei den verschiedenen Belastungsformen gemessen. Dieses Ergebnis war mit dem von Roecker et al. vergleichbar. (22) An der anaeroben Schwelle war es aufgrund der signifikanten Unterschiede der HF jedoch nicht möglich diese exakt auf andere Belastungsformen zu übertragen, da dies zu einer Über- bzw. Unterbelastung des kardialen Patienten geführt hätte. Durch Korrelationsanalysen an dieser Stelle konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Fahrrad und Laufband, bzw. der Armkurbel gezeigt werden. Die anaerobe Schwelle war am Laufband um 13% höher und an der Armkurbel um 7% niedriger als am Fahrrad. Somit war es in dieser Studie möglich die Trainings-HF für das Laufband und die Armkurbel aus der des Fahrrades zu berechnen. Am Fahrradergometer lag die HF für den mittleren Trainingsbereich bei 70-80% der anaeroben Schwelle (18). Für das Laufbandergometer musste man für den mittleren Trainingsbereich jeweils 13% addieren und für das Armkurbelergometer jeweils 7% subtrahieren. Ob diese Hypothese stimmt, sollte in weiteren Studien untersucht werden, da die Anzahl der Stichproben, wie bereits erwähnt, in dieser Studie gering war.

An der aeroben Schwelle konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Fahrrad und dem Laufband nachgewiesen werden. Eine Hochrechnung der HF an dieser Stelle erschien vom Fahrrad zum Laufband möglich. Die Umrechnung der HF vom Fahrrad auf die Armkurbel konnte aufgrund des fehlenden signifikanten Zusammenhangs nicht empfohlen werden.

Verwendete man die Karvonen-Formel zur Berechnung der Trainings-HF, so ergab diese für die Armkurbel keinen signifikanten Unterschied im Vergleich zum Fahrrad. Eine Trainingssteuerung über die Karvonen-Formel würde somit zu einer Überbelastung des Patienten an der Armkurbel führen. Am Laufband konnte ein signifikanter Unterschied zu den beiden anderen Belastungsformen gezeigt werden. Eine Berechnung der Trainings-HF über diese Formel kann für das Laufband weiterhin empfohlen werden. Insgesamt sollte derzeit die Trainingsvorschrift für das Laufband durch spezifische Testung erfolgen.

Es ist gerade bei kranken Menschen besonders wichtig eine Überbelastung des Organismus zu vermeiden, da diese zu vermehrter Ausschüttung von Katecholaminen führt und sich negativ auf körperliches Training auswirkt. Nach dem Überschreiten der anaeroben Schwelle kommt es analog zu den Katecholaminen zu einem überproportionalen Anstieg der Blutlaktatkonzentration. (23)

Die Blutlaktatkonzentration spiegelt das Ausmaß der metabolischen Azidose, der verminderten Muskelkontraktion und der Hyperventilation wieder. Diese Faktoren führen zu eingeschränkter Leistungsfähigkeit der Probanden.(18)

Eine Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Analyse der aeroben- und der anaeroben Schwelle war über die Blutlaktatkonzentration sowohl am Fahrrad, als auch am Laufband und der Armkurbel möglich.

### 4.1.3 Respiratorische Parameter

Um den Rahmen dieser Diplomarbeit nicht zu sprengen wird im folgenden Kapitel nur auf die  $VO_2$  näher eingegangen. In dieser Studie unterschied sich der  $VO_2$ -Verlauf am Laufband deutlich von den anderen Belastungsformen. Analog zu den Stellungnahmen von Wassermann et al. zeigten sich Unterschiede bezüglich der aeroben Schwelle der drei Belastungsformen. (19) Die am Fahrrad und an der Armkurbel gemessenen Werte stimmten mit den Ergebnissen von Mezzani et al. überein. Sie beschrieben die aerobe Schwelle bei 40 bis 60% der  $VO_{2max}$ . (11,24) Bezüglich des Laufbandes zeigte sich das Ergebnis konkordant mit dem von Jones und Poole, welche die aerobe Schwelle am Laufband bei ca. 75% der  $VO_{2max}$  beschrieben. (21) Dieselben zeigten eine  $VO_2$  von etwa 90% der  $VO_{2max}$  an der anaeroben Schwelle, was auch den Ergebnissen dieser Studie entsprach.(21)

Die  $VO_{2max}$  zählt zu den bedeutendsten Parametern der körperlichen Leistungsfähigkeit, da sie durch zentrale und periphere Faktoren beeinflusst wird. (8) Die  $VO_{2max}$  an der Armkurbel war mit dem Ergebnis von Wasserman et al. vergleichbar, welche ein  $VO_{2max}$  von 50-70% an der Armkurbel beschrieben. (19) Am Laufband lag die  $VO_{2max}$  um  $14 \pm 8\%$  höher als am Fahrrad. Die Gründe für die Unterschiede bezüglich der  $VO_{2max}$  waren dieselben, wie sie im Kapitel der Leistung bereits beschrieben worden sind.

Die Korrelationsanalyse der  $VO_{2max}$  ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Laufband und Fahrrad. Dadurch war es möglich vom Fahrrad für das Laufband eine Vorhersage zu treffen. Je höher die  $VO_{2max}$  einer Untersuchung war, umso höher war sie auch bei der anderen Belastungsform. Vom Fahrrad zur Armkurbel konnte hingegen kein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. Daher war es nicht möglich die  $VO_{2max}$  vom Fahrrad auf die Armkurbel umzurechnen. Auch konnte aufgrund des fehlenden signifikanten Zusammenhangs zwischen der Armkurbel und dem Laufband keine Vorhersage bezüglich der  $VO_{2max}$  dieser Belastungsformen gemacht werden.

## **4.2 Schlussfolgerung:**

Durch diese klinische Studie konnte gezeigt werden, dass es nicht möglich war die Ergebnisse einer spezifischen Leistungsdiagnostik exakt auf andere Belastungsformen zu übertragen.

Man konnte jedoch die Trainings-HF über die anaerobe Schwelle vom Fahrrad auf das Laufband und die Armkurbel umrechnen. In weiteren Studien sollte diese Hochrechnung verifiziert werden.

Derzeit sollte eine Belastungsuntersuchung immer an dem Gerät durchgeführt werden, welches in seiner Form dem Trainingsgerät ähnlich ist, da die in einer Untersuchung ermittelte Herzfrequenz nicht exakt auf verschiedene Belastungsmethoden übertragen werden darf. (25) Die Berechnung der Trainings-HF über die Karvonen-Formel sollte nur für das Fahrrad und das Laufband erfolgen. An der Armkurbel würde diese Art der Berechnung der Trainings-HF zu einer Überbelastung des kardialen Patienten führen.

Des Weiteren besteht keine allgemein gültige Formel zur Berechnung der Leistung in Watt am Laufband. Zur Erstellung und Überprüfung etwaiger Formeln sollten noch mehrere und größere Studien folgen.

Mit jeder der drei Belastungsformen, war es möglich eine Aussage bezüglich des Trainingszustandes zu treffen. (26)(27)

## 5 Literaturverzeichnis

1. Smekal G. Substratutilisation (muskulärer Energiestoffwechsel). In Pokan et al. Kompendium der Sportmedizin Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie. Wien New York: Springer Verlag; 2004. p. 83-102.
2. Smekal G. Der muskuläre Energiestoffwechsel. In Pokan R, Benzer W, Gabriel H, Hofmann P, Kunschitz E, Mayr K, et al. Kompendium der kardiologischen Prävention und Rehabilitation. Wien New York: Springer-Verlag; 2009. p. 90-99.
3. Pokan R, Hofmann P, Wonisch M. Die Phasen der Energiebereitstellung unter physiologischen und pathologischen Bedingungen. In Pokan et al. Kompendium der kardiologischen Prävention und Rehabilitation. Wien New York: Springer Verlag; 2009. p. 115-120.
4. Pokan R, Hofmann P. Ventrikelfunktion und Herzfrequenz. In Pokan et al. Kompendium der kardiologischen Prävention und Rehabilitation. Wien New York: Springer Verlag; 2009. p. 121-124.
5. Wonisch M, Berent R, Klicpera M, Laimer H, Marko C, Pokan R, et al. Praxisleitlinien Ergometrie. Journal für Kardiologie. 2008: p. 15 (Suppl A): 3-17.
6. Schuster HP, Trappe HJ. Grundlagen In: Schuster/Trappe. EKG-Kurs für Isabel Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2005.
7. Wonisch M, Pokan R, Hofmann P. Funktionsdiagnostik akuter und chronischer Anpassung der Atmungsorgane. In Pokan et al. Kompendium der Sportmedizin Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie. Wien New York: Springer-Verlag; 2004. p. 133-144.
8. Wonisch M, Fruhwald F, Hödl R, Hofmann P, Klein W, Kraxner W, et al. Spiroergometrie in der Kardiologie - Grundlagen der Physiologie und Terminologie. Journal für Kardiologie. 2003: p. 10 (9), 383-390.
9. Wonisch M, Pokan R, Smekal G, Hofmann P, Schwabberger G. Gasaustausch. In Pokan et al. Kompendium der kardiologischen Prävention und Rehabilitation. Wien New York: Springer Verlag; 2009. p. 125-150.
10. Wonisch M, Pokan R, Hofmann P, Smekal G, Schwabberger G. Spiroergometrie. In Pokan et al. Kompendium der kardialen Prävention und Rehabilitation. Wien New York: Springer-Verlag; 2009. p. 207-224.

11. Mezzani A, Agostoni P, Cohen-Solal A, Corra U, Jegier A, Kouidi E, et al. Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*. 2009; p. 16:249-267.
12. Wonisch M, Hofmann P, Fuhwald F, Hödl R, Schwabegger G, Pokan R, et al. Effect of  $\beta$ 1-selective adrenergic blockade on maximal blood lactate steady state in healthy men. *Eur J Appl Physiol*. 2002; p. 87:66-71.
13. Haber P. Zusammenfassende Beurteilung der spiroergometrischen Messwerte. In Haber P. *Lungenfunktion und Spiroergometrie Interpretation und Befunderstellung*. Wien New York: Springer-Verlag; 2007. p. 169-180.
14. Hofmann P, Wonisch M, Pokan R. Laktatleistungsdiagnostik - Durchführung und Interpretation. In Pokan et al. *Kompendium der Sportmedizin Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie*. Wien New York: Springer Verlag; 2004. p. 225-246.
15. Binder RK, Wonisch M, Corra U, Cohen-Solal A, Vanhees L, Saner H, et al. Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*. 2008; p. 15:726-734.
16. Hofmann P, Wonisch M, Pokan R. Grundprinzipien der therapeutischen Trainingslehre.. In Pokan et al. *Kompendium der kardiologischen Prävention und Rehabilitation*. Wien New York: Springer Verlag; 2009. p. 324-329.
17. Wonisch M, Hofmann P, Pokan R. Krafttraining in der kardiologischen Rehabilitation. In Pokan et al. *Kompendium der kardiologischen Prävention und Rehabilitation*. Wien New York: Springer-Verlag; 2009. p. 353-372.
18. Hofmann P, Wonisch M, Pokan R. Laktat-Leistungs-Diagnostik. In Pokan et al. *Kompendium der kardiologischen Prävention und Rehabilitation*. Wien New York: Springer Verlag; 2009. p. 247-249.
19. Wasserman K, Hansen J, Sue D, Stringer W, Whipp B. Clinical Exercise Testing. In Wasserman K, Hansen J, Sue D, Stringer W, Whipp B, editors. *Principles of Exercise Testing and Interpretation Including Pathophysiology and Clinical Applications*. Philadelphia Baltimore New York London Buenos Aires Hong Kong Sydney Tokyo: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 134-156.
20. Roels B, Schmitt L, Libicz S, Bentley D, Richalet JP, Millet G. Specificity of VO<sub>2</sub>max

- and the ventilatory threshold in free swimming and cycle ergometry: comparison between triathletes and swimmers. In *Br J Sports Med.*; 2005. p. 39:965-968.
21. Jones A, Burnley M. Effect of exercise modality on VO<sub>2</sub> kinetics. In Jones A, Poole D. *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. London and New York: Routledge Taylor & Francis Group; 2005. p. 95-115.
  22. Roecker K, Striegel H, Dickhuth HH. Heart-Rate-Recommendations: Transfer Between Running and Cycling Exercise? In *Int J Sports Med* 24. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2003. p. 173-178.
  23. Wonisch M, Hofmann P, Schmid P, Pokan R. Zusammenhang zwischen "anaerober Schwelle", Katecholaminne und Arrhythmien bei Patienten mit Herzerkrankungne. *Österreichisches Journal für Sportmedizin*. 2007 Feb.
  24. Jones AM, Poole DC. Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline. In Jones A, Poole D. *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. London and New York: Routledge Taylor & Francis Group; 2005. p. 3-37.
  25. A.J. L. Variations in heart rate at blood lactate threshold due to exercise mode in elite cross-country skiers. *J Strength Cond Res*. 2006 Nov: p. 20(4):855-60.
  26. Nasreen A, Xian H, Inman C, Martin W. Arm exercise testing predicts clinical outcome. *Am Heart J*. 2009: p. 157:69-76.
  27. Rahimi K, Thomas A, Adam M, Hayerizadeh BF, Schuler G, Secknus MA. Implications of exercise test modality on modern prognostic markers in patients with known or suspected coronary artery disease: Treadmill versus bicycle. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*. 2006.

# Lebenslauf

## Persönliche Daten:

Name	Birgit Putz
Geburtsort	Graz
Geburtsdatum	29.09.1984
Nationalität	Österreich

## Ausbildung

2003-2010	Diplomstudium Humanmedizin, O202 an der Medizinischen Universität Graz 1. Diplomprüfung: Juli.2004 2. Diplomprüfung: Oktober.2008
2009	Auslandssemester an der Université de Caen, Faculté de Médecine
2006	Auslandspraktikum im Royal Darwin Hospital, Australien
2001-2003	Gymnasium BG/BRG und WRG Wien XIX, Billrothstraße 26-30
1995-2001	Stiftsgymnasium Admont
1991-1995	Volksschule Graz-Waltendorf

## Praktika im 6.Studienjahr:

Fächergruppe 1	Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin, Centre Hospitalier Universitaire de Caen
Fächergruppe 2	Klinik für Kardiologie, Klinik für Interne Medizin-Immunologie, Centre Hospitalier Universitaire de Caen
Fächergruppe 3	Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe, Univ. Klinikum Graz
Allgemeinmedizin	Dr. Nikolaus Höfler, Arzt für Allgemeinmedizin, Hohentauern.

### Famulaturen:

2009	Abteilung für Innere Medizin, SKA-RZ für Herz-Kreislaufkrankungen und kard. Rehabilitation der PVA, St. Radegund (8 Wochen)
2008	Abteilung für Kinder und Jugendliche, LKH Leoben (2 Wochen) Abteilung für Innere Medizin, LKH-Wagna (3 Wochen)
2007	Abteilung für Innere Medizin, LKH Wagna (4 Wochen)
2006	Emergency Department, Royal Darwin Hospital, Australien (4 Wochen)
2005	Abteilung für Chirurgie, LKH Rottenmann (3 Wochen)

### Zusatzqualifikationen:

PSY-1: Diplom Psychosoziale Medizin

Common Invasive Procedures I und II, Institut für Anatomie

Basic Medical Englisch, English in the Clinical Practice I

Spezielle Studienmodule :

- Klinisch-topographische Anatomie der Extremitäten
- Klinisch-topographische Anatomie der Eingeweide
- Allgemeinmedizin
- Chirurgische Operationslehre
- Notfallmedizin
- Case-based Learning in Klinik und Praxis

### Sonstige Kenntnisse:

Englisch: sehr gut in Wort und Schrift

Französisch: sehr gut in Wort und Schrift

EDV-Kenntnisse: sehr gut Microsoft Office