

Aus dem Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin
- Abteilung für präventive und rehabilitative Sport- und Leistungsmedizin -
der Deutschen Sporthochschule Köln
Leiter: Universitätsprofessor Dr. med. H.G. Predel

**Vergleich zweier Verfahren zur Bestimmung der
Trainingsintensität für das Ergometertraining in der
kardiologischen Rehabilitation**
- Ergebnisse der OpErgo-Studie -

von der Deutschen Sporthochschule Köln zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Sportwissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Daniel Bott
aus Weingarten

Köln 2012

Erste Referentin:	Prof'in Dr. Sportwiss. B. Bjarnason-Wehrens
Zweiter Referent:	Priv.-Doz. Dr. med. C. Knackstedt
Vorsitzender des Promotionsausschusses:	Univ.-Prof. Dr. med. W. Bloch
Datum der Disputation:	10.07.2012

Versicherung gem. § 7 Abs. 2 Nr. 4

Hierdurch versichere ich: Ich habe die Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen und technischen Hilfen angefertigt; sie hat noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegen. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitat kenntlich gemacht worden.

Daniel Bott

Erklärung gem. § 7 Abs. 2 Nr. 5

Hierdurch erkläre ich , dass ich die „Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis“ der Deutschen Sporthochschule Köln in der aktuellen Fassung eingehalten habe.

Daniel Bott

Für meine Oma

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. sportwiss. Bjarnason-Wehrens für das Ermöglichen dieser Arbeit. Ihre äußerst kompetente Betreuung, die beständigen Ermutigungen sowie die konstruktive Kritik trugen wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit bei.

Ich danke ihr insbesondere für die vielen interessanten, prägenden Jahre freundschaftlicher Zusammenarbeit im Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin.

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Christian Knackstedt danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Ich danke Herrn Dr. Thomas Abel für die Unterstützung bei der Konzeption und Durchführung der Studie. Herrn Dr. Clemens Busch danke ich für sein Engagement in der Rehabilitationsklinik bei der Umsetzung des Vorhabens. Insbesondere danke ich dem Ärztlichen Direktor der Klinik Roderbirken, Herr Dr. Mayer-Berger, für die Kooperation im Rahmen dieser Studie.

Meinen Eltern danke ich, dass sie mich stets auf meinem Weg unterstützt und in meinem Vorhaben ermutigt haben.

Besonders danke ich meiner Freundin Britta für ihr Verständnis, ihr Vertrauen und dafür, dass sie mir stets den Rücken zur Finalisierung dieser Arbeit freigehalten hat.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	V
1. EINLEITUNG	1
2. METHODIK.....	4
2.1. Projektbeschreibung.....	4
2.1.1. Ein- und Ausschlusskriterien	5
2.1.1.1 Primäre Ausschlusskriterien	5
2.1.1.2 Sekundäre Ausschlusskriterien	6
2.1.2. Stichprobe	6
2.1.2.1 Fallzahlrationale	6
2.1.2.2 Randomisierung	8
2.1.2.3 Anthropometrische Daten	9
2.1.2.4 Kardiovaskuläre Diagnosen.....	11
2.2. Untersuchungsgang	14
2.2.1. Integration des Untersuchungsablaufs in die Rehabilitationsmaßnahme	14
2.2.2. Echokardiographie	15
2.2.3. Spiroergometrie	15
2.2.4. Zustands- und Empfindungsskala	16
2.2.5. Bestimmung der Laktatkonzentration.....	17
2.2.6. Ergometertraining.....	18
2.2.6.1 Herzfrequenzbasiertes Training.....	18
2.2.6.2 Laktatbasiertes Training	19
2.2.6.3 Phaseneinteilung des Ergometertrainings	19
2.2.6.4 Trainingsumfang.....	20
2.3. Statistik	22
2.3.1. Sonstige Berechnungsverfahren	23
2.3.1.1 Leistung bei definierten Laktatwerten	23
2.3.1.2 Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten	23
2.3.1.3 Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten	23

2.4. Hypothesen und Fragestellungen.....	24
3. ERGEBNISSE	25
3.1. Trainingsempfehlungen.....	25
3.1.1. Trainingsintensität	25
3.1.2. Trainingsherzfrequenz	27
3.1.3. Laktatkonzentration gemäß Trainingsempfehlung	28
3.2. Leistung und Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten und Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten.....	32
3.2.1. Leistung bei definierten Laktatwerten.....	32
3.2.2. Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten.....	34
3.2.3. Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten.....	36
3.3. Körperliche Belastbarkeit.....	38
3.4. Veränderungen einzelner Parameter je Belastungsstufe der Belastungs-EKGs zwischen Eingangs- und Ausgangsuntersuchung.....	41
3.4.1. Laktat	41
3.4.2. Herzfrequenz	43
3.4.3. Blutdruck	44
3.4.3.1 Systolischer Blutdruck	44
3.4.3.2 Diastolischer Blutdruck.....	46
3.4.4. Borg-Skala	47
4. DISKUSSION.....	49
4.1. Methodendiskussion.....	49
4.1.1. Untersuchungsdesign	49
4.1.2. Patientengruppe.....	53
4.1.3. Durchführung der Spiroergometrie.....	54
4.1.4. Durchführung der Laktatmessung	55
4.1.5. Durchführung der Trainingsintervention	57
4.1.5.1 Trainingsdauer.....	57
4.1.5.2 Trainingshäufigkeit	58

4.1.5.3	Festlegung der Trainingsintensitäten.....	61
4.2.	Ergebnisdiskussion	66
4.2.1.	Trainingsempfehlungen der OpErgo-Studie	66
4.2.1.1	Trainingsintensität	66
4.2.1.2	Trainingsherzfrequenz.....	72
4.2.1.3	Laktatkonzentration gemäß Trainingsempfehlungen.....	73
4.2.2.	Einfluss der Intervention auf die Leistung und die Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten bzw. der Leistung bei definierten Herzfrequenzen	76
4.2.2.1	Leistung bei definierten Laktatwerten	76
4.2.2.2	Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten	78
4.2.2.3	Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten	78
4.2.3.	Einfluss der Intervention auf die körperliche Belastbarkeit.....	80
4.2.3.1	Einfluss der Intervention auf die max. Leistung in Watt	80
4.2.3.2	Einfluss der Intervention auf die max. Sauerstoffaufnahme ...	82
4.2.4.	Einfluss der Intervention auf Parameter des Belastungs-EKGs .	86
4.2.4.1	Einfluss der Intervention auf die Laktatwerte	86
4.2.4.2	Einfluss der Intervention auf die Herzfrequenz	87
4.2.4.3	Einfluss der Intervention auf den Blutdruck	89
4.2.4.4	Einfluss der Intervention auf das subjektive Belastungsempfinden	91
4.3.	Fazit.....	92
5.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	94
6.	LITERATURVERZEICHNIS.....	96
7.	VERZEICHNISSE	112
7.1.	Abkürzungsverzeichnis	112
7.2.	Tabellenverzeichnis	115
7.3.	Abbildungsverzeichnis	117

8. ANHANG	119
9. LEBENSLAUF.....	121
10. ABSTRACT	122

1. Einleitung

Die koronare Herzkrankheit (KHK) ist die Haupttodesursache in westlichen Industrienationen und verursacht mehr Folgeerkrankungen und wirtschaftliche Kosten als jede andere Krankheit (Niebauer 2011, Niederseer & Niebauer 2009, Wagner & Becker 2008).

Die Entstehung der koronaren Herzkrankheit wird durch körperliche Inaktivität begünstigt, sodass körperliche Aktivität einen therapeutischen Ansatz darstellt (Niederseer & Niebauer 2009, Wagner & Becker 2008). Große internationale kardiologische Gesellschaften wie bspw. die American Heart Association, das American College of Cardiology und die European Society of Cardiology haben in ihren Leitlinien empfohlen, körperliches Training in die Behandlung der KHK zu integrieren (Niederseer & Niebauer 2009, Benzer 2008, Smith et al. 2006, Gohlke & Schuler 2005, De Backer et al. 2003, Dietz & Rauch 2003). Auch nationale kardiologische und sportmedizinische Gesellschaften wie die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie und die Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention empfehlen zur Sekundärprävention kardiovaskulärer Erkrankungen neben einer aktiven Lebensweise eine regelmäßige, gezielte körperliche Aktivität (Halle et al. 2003). Diese kann sich positiv auf die Morbidität und Mortalität auswirken sowie eine Verbesserung der Endothelfunktion und metabolischer Risikofaktoren bewirken (Wagner & Becker 2008, Halle et al. 2003).

Metaanalysen der Cochrane-Datenbank zeigen, dass durch Trainingsinterventionen die Gesamtsterblichkeit von Patienten mit koronarer Herzkrankheit um 13% bis 20% sowie die KHK-bedingte Sterblichkeitsrate um 26% gesenkt werden kann (Heran et al. 2011, Taylor et al. 2004). Bereits eine kleine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) von 1 ml/min/kg führt zu einer Reduktion des kardiovaskulären Mortalitätsrisikos von 9% (Kavanagh et al. 2002). Jede trainingsbedingte Zunahme um 1 ml/min/kg verringert dieses um weitere 2% (Lavie et al. 2009).

Mittlerweile ist die Bewegungstherapie ein Grundpfeiler der kardiologischen Rehabilitation (Heran et al. 2011, ACSM 2010, Balady et al. 2007), die in Deutschland in der Phase II entsprechend der Regelförderung als 3-

wöchiges Rehabilitationsprogramm angeboten wird. Ihre übergeordneten Ziele sind „die Erlangung der bestmöglichen physischen und psychischen Gesundheit des Patienten sowie dessen bestmögliche soziale Integration“ (Korsukéwitz et al. 2007, S. 11). Zur Erreichung dieser Ziele stellt die Wiederherstellung und Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit ein zentrales Therapieziel dar (Korsukéwitz et al. 2007).

Der Zeitraum der kardiologischen Rehabilitation ist sehr kurz, um wesentliche Verbesserungen der körperlichen Leistungsfähigkeit und eine Ökonomisierung der Herz-Kreislauffunktion zu erzielen. Es ist daher von Bedeutung, den zur Verfügung stehenden Trainingszeitraum möglichst optimal auszunutzen.

Die Basis des Trainings bildet gemäß der Deutschen Leitlinie zur Rehabilitation von Patienten mit Herz-Kreislauferkrankungen ein aerobes Ausdauertraining, welches als EKG-überwachtes Ergometertraining an 5-7 Tagen mit einer Trainingsintensität von 40-80% der maximalen Leistungsfähigkeit durchgeführt werden sollte (Bjarnason-Wehrens et al. 2007).

Die Trainingsintensität für das Ausdauertraining in der kardiologischen Rehabilitation wird anhand von Parametern wie der maximalen Sauerstoffaufnahme, der maximalen Herzfrequenz, der Herzfrequenzreserve, der maximalen Wattleistung, dem Laktatwert oder dem subjektiven Belastungsempfinden, festgelegt. Je Parameter existieren definierte Intensitätsbereiche, innerhalb derer die exakte Belastung durch den untersuchenden Arzt bestimmt wird. Aufgrund der teils großen Bandbreiten der Intensitätsvorgaben kann die Trainingsintensität des Ausdauertrainings interindividuell mitunter stark variieren. Häufig wird die Belastungsintensität nach herzfrequenzbasierten Vorgaben festgelegt (z.B. in Prozent der Herzfrequenzreserve). Die hohe Variabilität der Herzfrequenz kann bei Trainingsbelastungen in unterschiedlichen metabolischen Beanspruchungen der Arbeitsmuskulatur resultieren (Tegtbur et al. 2001). Die aus der Sportmedizin übernommene Laktatdiagnostik zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit und zur Überprüfung von Trainingseffekten stellt einen, auch von medikamentösen Einflüssen weitestgehend unabhängigen, objektiven Parameter dar. Die Laktatleistungsdiagnostik könnte für die Dokumentation und Objektivierung von Trainingsbelastungen und

Trainingseffekten in der kardiologischen Rehabilitation einen besonderen Stellenwert einnehmen. Selbst geringe Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit lassen sich mit Hilfe dieses Verfahrens nachweisen.

Ziel der vorliegenden Studie war es, zwei unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung der Trainingsintensität für das Ergometertraining in der kardiologischen Rehabilitation miteinander zu vergleichen. Eingebettet in eine 3-wöchige stationäre kardiologische Rehabilitation wurden die Teilnehmer der randomisierten kontrollierten Studie in zwei unterschiedliche Trainingsgruppen randomisiert. Eine Gruppe trainierte gemäß den Empfehlungen der American Heart Association herzfrequenzgesteuert mit 60% der Herzfrequenzreserve. Die zweite Gruppe trainierte metabolisch gesteuert anhand der während der Belastungsuntersuchung erzielten Laktatwerte. Die unterschiedlich ermittelten Trainingsintensitäten sowie die erzielten Trainingseffekte beider Trainingsgruppen sollten hinsichtlich Trainingseffizienz miteinander verglichen werden.

Die Studie wurde als „OpErgo-Studie¹“ vom Rehabilitations-Forschungsnetzwerk refonet der Deutschen Rentenversicherung Rheinland gefördert.

Insbesondere werden folgende Fragen untersucht:

- Führen unterschiedliche methodische Konzeptionen zur Bestimmung der Trainingsintensität – bei Orientierung an der Herzfrequenzreserve bzw. an dem metabolischen Parameter Laktat – zu unterschiedlichen Trainingsempfehlungen hinsichtlich der Steuerungsparameter (Trainingsleistung in Watt und Trainingsherzfrequenz) für das Training in der kardiologischen Rehabilitation?
- Welches Verfahren erzielt die höchste Effizienz zur Steigerung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, gemessen an der Veränderung der Leistung bei 2,5 und 3,0 mmol Laktat pro Liter Blut?

¹ OpErgo = Optimierung des Ergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation.

2. Methodik

2.1. Projektbeschreibung

Bei der vorliegenden prospektiven Untersuchung handelt es sich um eine monozentrische, randomisierte kontrollierte Studie zur Steuerung der Trainingsintensität des Ergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation. Die Studie wurde von Oktober 2005 bis September 2006 in den Routinebetrieb einer Rehabilitationsklinik² integriert, die auf die Rehabilitation von Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen, insbesondere nach Myokardinfarkt und/oder nach einer Herzoperation, spezialisiert ist. Finanziert wurde die Studie mit dem Arbeitstitel „Optimierung der Intensitätssteuerung des Ergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation“ (OpErgo-Studie) durch das Rehabilitations-Forschungsnetzwerk der Deutschen Rentenversicherung Rheinland.

Das Ziel der Studie war es, zwei unterschiedliche Formen der Trainingssteuerung und den daraus abgeleiteten Trainingsempfehlungen für das Ergometertraining in der 3-wöchigen stationären kardiologischen Rehabilitation miteinander zu vergleichen. Gleichzeitig sollte die Effizienz beider Trainingsmethoden überprüft und verglichen werden. Um dies zu beleuchten wurden im Rahmen dieser randomisierten kontrollierten Studie Teilnehmer einer Phase II Rehabilitation in zwei unterschiedliche Trainingsgruppen randomisiert. Eine Gruppe trainierte entsprechend den Empfehlungen der American Heart Association (Fletcher et al. 2001) herzfrequenzbasiert mit 60% der Herzfrequenzreserve (im Folgenden Herzfrequenzgruppe genannt). Die zweite Gruppe trainierte metabolisch orientiert anhand der während der Belastungsuntersuchung erzielten Laktatwerte (im Folgenden Laktatgruppe genannt).

Für das Studienkonzept wurde ein positives Votum der Ethikkommission der Deutschen Sporthochschule erteilt.

² Klinik Roderbirken der Deutschen Rentenversicherung Rheinland, Leichlingen.

2.1.1. Ein- und Ausschlusskriterien

In die Studie integriert wurden Patienten, die an einer 3-wöchigen kardiologischen Rehabilitationsmaßnahme in der Klinik Roderbirken teilnahmen. Voraussetzung für die Aufnahme in die Studie war eine angiographisch nachgewiesene koronare Herzerkrankung sowie in der Vorgeschichte eine bekannte Angina pectoris oder ein akutes Koronarsyndrom (>10 Tage vor Einschluss in die Studie). Weitere Einschlusskriterien waren eine echokardiographisch nachgewiesene erhaltene oder leicht eingeschränkte systolische Herzfunktion ($\geq$ LV-EF 50%). Die Patienten mussten zudem einen Sinusrhythmus aufweisen.

2.1.1.1 Primäre Ausschlusskriterien

Bei Vorliegen eines der folgenden Merkmale erfolgte keine Zulassung zur Studie:

- Akutes Koronarsyndrom oder Angina pectoris < 10 Tage
- mittel- bzw. höhergradig eingeschränkte systolische Herzfunktion
- Aortokoronare Bypass-Operation $\leq$ 3 Monate
- Vorhofflimmern oder eine therapierelevante ventrikuläre Herzrhythmusstörung
- Klinisch limitierende pAVK (Stadium IIa oder höher (nach Fontaine))
- Bestehende hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie
- Nicht einstellbare arterielle Hypertonie
- Häodynamisch relevante Herzklappenfehler
- (Peri-) Myokarditis sowie eine Lungenembolie $\leq$ 6 Monate
- Limitierende orthopädische Begleiterkrankungen
- Konsumierende und interkurrente Erkrankung(en)
- Niereninsuffizienz (Kreatinin > 2,0 mg/dl)
- Anämie (Hb < 12 g/dl)
- Schwere COPD (FEV1 < 35%)
- Respiratorische Globalinsuffizienz
- SM/ICD-Implantation
- Kognitive bzw. sprachliche Einschränkungen

2.1.1.2 Sekundäre Ausschlusskriterien

Bei Auftreten eines der folgenden aus dem Belastungstest resultierenden Merkmale erfolgte keine Zulassung zur Studie:

- Nichterreichen einer metabolischen Belastung von 3,0 mmol Laktat pro Liter Blut im symptomlimitierten Belastungstest.
- Symptomlimitierte Trainingsbelastung < 60% der Leistung bei einem Laktatwert von 3,0 mmol Laktat pro Liter Blut.

2.1.2. Stichprobe

Nach einer Power-Berechnung, die im Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Epidemiologie der Universität zu Köln durchgeführt wurde, ließe sich bei 130 Patienten pro Gruppe ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen mit einer Power von 80% auf einem Niveau $\alpha=0,05$ statistisch absichern.

2.1.2.1 Fallzahlrationale

Da keine verlässlichen Vorinformationen zur Größenordnung der unter verschiedenen Trainingsbedingungen zu erwartenden Unterschiede bezüglich der individuellen Leistungsveränderung (Leistung nach Abschluss des Trainings bezogen auf die Leistung vor Trainingsbeginn) vorliegen, wurde die Fallzahl in Abhängigkeit von klinisch zu erwartenden Unterschieden modelliert:

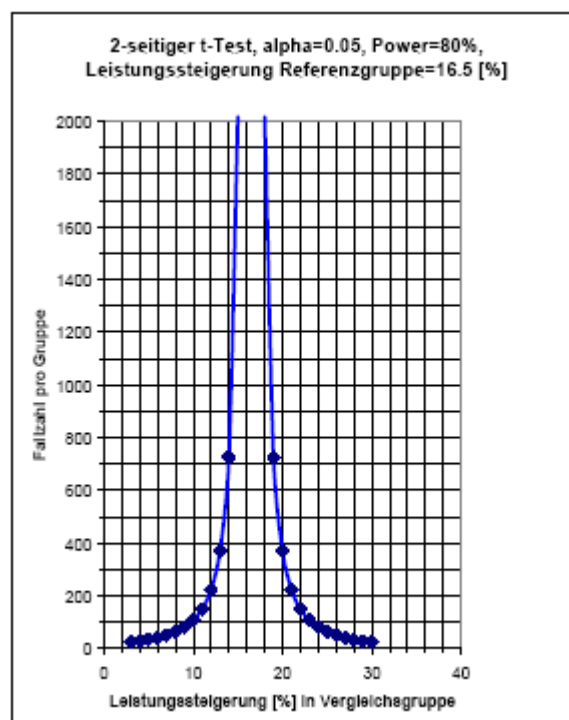
Hierzu wurde zunächst eine mittlere relative Leistungsveränderung unter einem Training gemäß Laktatreferenzwerten („Referenzgruppe“) mit 16.5% (Standardabweichung 17% unter beiden zu vergleichenden Trainingsmodalitäten) angenommen; entsprechende Werte haben sich bei der explorativen Analyse eines Vorversuchs bestätigt, für den vergleichbare Einschlusskriterien wie für die jetzt geplante Studie bestanden. Für die (Laktat-) „Referenzgruppe“ der jetzt geplanten Studie werden deshalb Effekte in gleicher Größenordnung angenommen.

Mit diesen Werten und unter der Annahme entsprechender Verteilungseigenschaften ergaben sich bei einem 2-seitigen t-Test für den Vergleich der mittleren prozentualen Leistungsänderung (zwei unabhängige

Gruppen) die in den angefügten Grafiken dargestellten Fallzahlsszenarien, wenn Unterschiede bei vorgegebener Power von 80% auf dem Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ statistisch abgesichert werden sollen.

Bei einer mittleren relativen Leistungsänderung von etwa 10%–11% unter „klassischen“ Belastungsbedingungen sind demnach für den Parallelgruppenvergleich des primären Zielkriteriums „(relative) Leistungsänderung“ pro Studienarm rund 130 Patienten, insgesamt also vollständige Daten von 260 Patienten für die Auswertung hinreichend.

Bei einer konservativ geschätzten Drop-Out-Rate von 20%–30% entspricht dies einer Fallzahl von insgesamt 310–340 einzuschließenden Patienten, um die genannte Zahl auswertbarer Patienten zu erreichen.



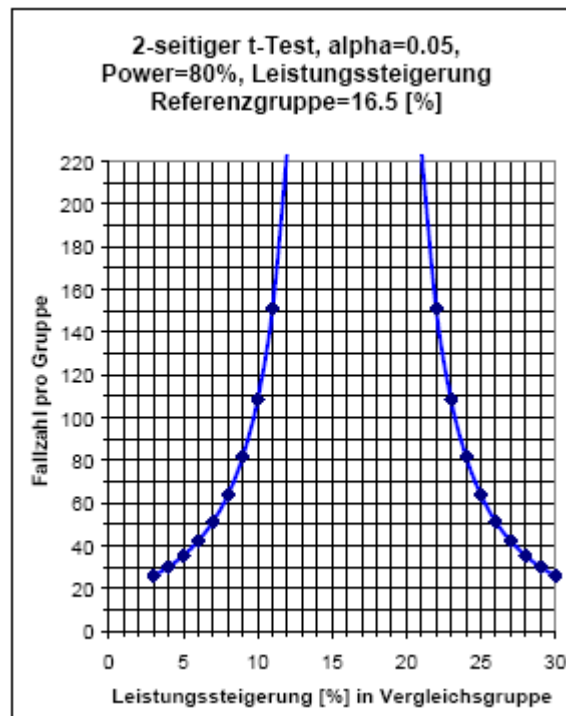


Abb. 1: Powerberechnung (Power 80%).

2.1.2.2 Randomisierung

Die Randomisierungsliste wurde von dem Koordinierungszentrum für klinische Studien der Universität zu Köln (KKSK³) erstellt. Die Randomisierung erfolgte stratifiziert nach Geschlecht nach den SOPs⁴ des KKSK.

Einschluss der Patienten in die Studie und Randomisierung.

1. Patienten, die die Voraussetzungen für die Studienteilnahme erfüllten, wurden vom Studienarzt in der Klinik über die Studie informiert und aufgeklärt. Erklärte sich der Patient mit der Teilnahme an der Studie einverstanden, wurde er zunächst als potentieller Studienpatient eingeschlossen und absolvierte eine Belastungsuntersuchung auf dem Fahrradergometer mit Spiroergometrie und Laktatabnahme.
2. Die folgende Auswertung der Laktatwerte zeigte, ob der Patient auch die metabolischen Einschlusskriterien erfüllte: Das Erreichen einer metabolischen Belastung von ≥ 3 mmol Laktat pro Liter Blut im symptomlimitierten Belastungstest sowie eine mögliche Trainingsbe-

³ Später Umbenennung in ZKS (Zentrum für klinische Studien Köln).

⁴ Standard Operating Procedure (=Standardvorgehensweise).

lastung bei >60% der Leistung bei einem Laktatwert von 3 mmol/Liter Blut.

Patienten, die diese Kriterien erfüllten, wurden endgültig in die Studie eingeschlossen und randomisiert.

Insgesamt wurden 350 Rehabilitationspatienten der Klinik Roderbirken über die Studie aufgeklärt und auf eine mögliche Studienteilnahme untersucht. Davon wurden 296 Patienten in die Studie randomisiert. Elf dieser Patienten mussten nachträglich ausgeschlossen werden, da sie entweder die Einschlusskriterien nicht erfüllten und/oder Ausschlusskriterien aufwiesen. Abbildung 2 liefert einen Überblick über die Disposition der Patienten.

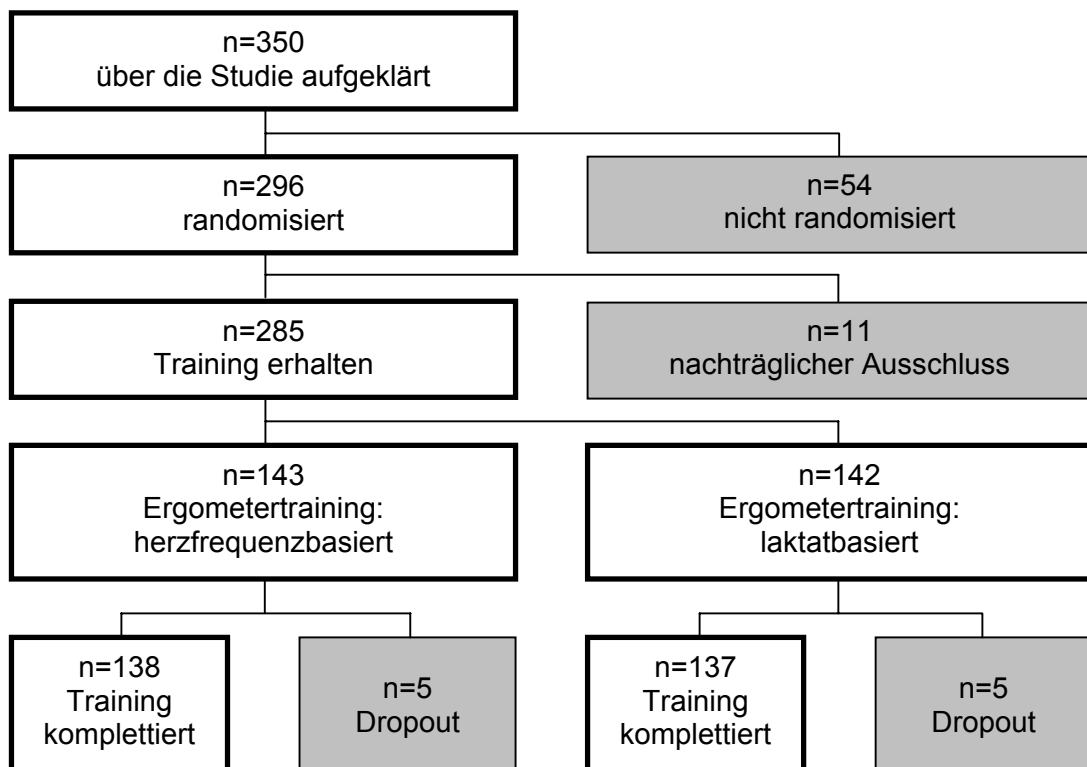


Abb. 2: Disposition der Patienten.

2.1.2.3 Anthropometrische Daten

Unter Berücksichtigung aller Ein- und Ausschlusskriterien, gesundheitlicher Voraussetzungen sowie dem Einverständnis der Teilnehmer konnten somit 285 Patienten, 251 Männer und 34 Frauen mit mittlerem Alter von 49,7 ($\pm 7,6$) Jahren, in die Untersuchungsgruppe aufgenommen werden. Von den 285 in die Studie integrierten Patienten haben 275 die Studienteilnahme planmäßig

absolviert und beendet. Drei Patienten mussten aus kardialen Gründen die Studienteilnahme abbrechen, bei sechs Patienten wurden sonstige, nicht kardiale Gründe für den vorzeitigen Abbruch angegeben und ein Patient beendete die Teilnahme auf Veranlassung des Prüfarztes.

Tabelle 1 zeigt die anthropometrischen Daten der Gesamtgruppe. In Tabelle 2 sind die anthropometrischen Daten differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

Tab. 1: Anthropometrische Daten der Gesamtgruppe.

n=285	Gesamtgruppe			
	251 Männer (88%), 34 Frauen (12%)			
	Alter	Größe in cm	Gewicht in kg	BMI in kg/m ²
$\bar{x}$	49,7	174,8	86,9	28,4
s	7,5	7,7	14,1	3,8
min.	22	156	50	19,9
max.	74	198	140	41,8

Tab. 2: Anthropometrische Daten der Untersuchungsgruppe, differenziert nach Trainingsgruppen (p-Wert= Unterschied zwischen den Trainingsgruppen). Der Unterschied zwischen den Trainingsgruppen wurde mit Hilfe des zweiseitigen Wilcoxon-Rangsummen-Tests für unabhängige Stichproben berechnet.

n=285	Herzfrequenzgruppe (n=143)				Laktatgruppe (n=142)			
	126 Männer (88%), 17 Frauen (12%)				125 Männer (88%), 17 Frauen (12%)			
	Alter	Größe in cm	Gewicht in kg	BMI in kg/m ²	Alter	Größe in cm	Gewicht in kg	BMI in kg/m ²
$\bar{x}$	50,6	174,6	87,1	28,5	48,8	174,9	86,6	28,3
s	7,7	7,4	13,5	3,5	7,3	8,0	14,9	4,2
min.	23	158	61	21,1	22	156	50	19,9
max.	74	198	140	41,8	69	198	138	41,7
p-Wert	Geschlecht p=0,983; Alter p=0,053; Größe p=0,456; Gewicht p=0,668; BMI p=0,327							

Hinsichtlich Alter, Größe, Gewicht und BMI zeigten sich keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen.

2.1.2.4 Kardiovaskuläre Diagnosen

Alle Patienten wiesen gemäß den Einschlusskriterien eine angiographisch nachgewiesene koronare Herzerkrankung auf. Tabelle 3 zeigt die kardiovaskulären Diagnosen differenziert nach Trainingsgruppen.

Tab. 3: Kardiovaskuläre Diagnosen der Patienten zu Beginn der Rehabilitation. Differenzierung nach Trainingsgruppen (Mehrfachnennung).

Kardiovaskuläre Diagnosen			Herzfrequenzgruppe (n=143)		Laktatgruppe (n=142)	
n=285	n	%	n	%	n	%
Koronare Herzkrankheit	285	100	143	100	142	100
0-Gefäßerkrankung	2	,7	1	,7	1	,7
1-Gefäßerkrankung	143	50,2	70	49	73	51,4
2-Gefäßerkrankung	90	31,6	45	31,5	45	31,7
3-Gefäßerkrankung	47	16,5	25	17,5	22	15,5
Hauptstammstenose	2	,7	2	1,4	-	-
nicht bekannt	2	,7	1	,7	1	,7
AP-Symptomatik CCS I	39	13,7	22	15,4	17	12,0
AP-Symptomatik CCS II	2	,7	1	,7	1	,7
Z.n. Katheterintervention	268	94	133	93	135	95,1
PTCA	267	93,7	132	92,3	135	95,1
Stent-Implantation	250	87,7	126	88,1	124	87,3
Z.n. Myokardinfarkt	252	88,4	123	86	129	90,8
Z.n. Bypassoperation	7	2,5	4	2,8	3	2,1
Z.n. entz. Herzerkrankung	2	,7	1	,7	1	,7
pAVK (klinisch nicht limitierend)	2	,7	1	,7	1	,7
Zerebrovask. Arteriosk. l.	1	,4	-	-	1	,7
Herzinsuffizienz NYHA I	5	1,8	3	2,1	2	1,4

Hinsichtlich der kardiovaskulären Diagnosen wurden keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt.

Bei 245 (86%) Patienten war die Hauptindikation zur Rehabilitation ein Zustand nach Myokardinfarkt, der bei 233 Patienten mit einer Katheterintervention therapiert wurde. 206 (72%) Patienten absolvierten eine Anschlussheilbehandlung, 79 (28%) ein Heilverfahren. In 92% der Fälle war die Deutsche Rentenversicherung der Kostenträger der Rehabilitationsmaßnahme.

Die Ergebnisse der echokardiographischen Untersuchung sind in Tabelle 4 differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

Tab. 4: Ergebnisse der echokardiographischen Untersuchung⁵ zu Beginn der Rehabilitation, differenziert nach Trainingsgruppen.

Echokardiographie			Herzfrequenzgruppe (n=143)		Laktatgruppe (n=142)	
n=285	n	%	n	%	n	%
Normale linksventrikuläre Funktion	249	90,5	121	87,7	128	93,4
Leicht eingeschränkte linksventrikuläre Funktion	26	9,5	17	12,3	9	6,6
Linksventrikuläre Hypertrophie	77	28	46	33,3	31	22,6
Mitralinsuffizienz	24	8,7	14	10,1	10	7,3
Mitralstenose	7	2,5	6	4,3	1	,7
Aorteninsuffizienz	17	6,2	10	7,2	7	5,1
Aortenstenose	22	8	13	9,4	9	6,6
Trikuspidalinsuffizienz	17	6,2	9	6,5	8	5,8

Die Ergebnisse der echokardiographischen Untersuchung wiesen keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen auf.

Tabelle 5 zeigt das kardiovaskuläre Risikoprofil der Patienten differenziert nach Trainingsgruppen.

Tab. 5: Kardiovaskuläres Risikoprofil zu Beginn der Rehabilitation, differenziert nach Trainingsgruppen.

Kardiovaskuläres Risikoprofil			Herzfrequenzgruppe (n=143)		Laktatgruppe (n=142)	
n=285	n	%	n	%	n	%
Fettstoffwechselstörung	254	89,1	125	87,4	129	90,8
Hypertonie	168	58,9	87	60,8	81	57
Diabetes mellitus Typ 2	34	11,9	18	12,6	16	11,3
Exraucher > 10 Jahre	29	10,2	17	11,9	12	8,5
Exraucher > 5 Jahre	15	5,3	7	4,9	8	5,6
Exraucher > 1 Jahr	20	7	12	8,4	8	5,6
Exraucher seit Indikation zur Rehabilitation	140	49,1	62	43,4	78	54,9
Raucher	52	18,2	27	18,8	25	17,6

⁵ Einteilung nach den Empfehlungen der American Society of Echocardiography (ASE 2005).

Hinsichtlich des kardiovaskulären Risikoprofils wurden keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen festgestellt.

Tabelle 6 zeigt die Medikation, differenziert nach Trainingsgruppen.

Tab. 6: Medikation der Patienten bei der Eingangsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen.

Medikation			Herzfrequenzgruppe (n=138)		Laktatgruppe (n=137)	
n=275	n	%	n	%	n	%
Gerinnungshemmende Substanzen	275	100	138	100	137	100
Betarezeptorenblocker	263	95,6	132	95,7	131	95,6
Diuretika	35	12,7	23	16,7	12	8,8
ACE-Hemmer	206	74,9	103	74,6	103	75,2
AT-II-Rezeptorantagonisten	19	6,9	9	6,5	10	7,3
Kalziumantagonisten	14	5,1	10	7,2	4	2,9
Sympathikolytika	2	,7	-	-	2	1,5
Arterielläre Vasodilatoren	3	1,1	3	2,2	-	-
Nitrate	34	12,4	22	15,9	12	8,8
Digitalis	1	,4	-	-	1	,7
Lipidsenkende Mittel	262	95,3	132	95,7	130	94,9

Hinsichtlich der Medikation zeigten sich keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen.

In Tabelle 7 sind die Angaben der Patienten zur Berufsarbeit, differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

Tab. 7: Angaben zur Berufsarbeit, differenziert nach Trainingsgruppen.

Angaben zur Berufsarbeit			Herzfrequenzgruppe (n=143)		Laktatgruppe (n=142)	
n=285	n	%	n	%	n	%
Erwerbstätig	218	76,5	104	72,7	114	80,3
Nicht erwerbstätig	57	20	34	23,8	23	16,2
Keine Angabe	10	3,5	5	3,5	5	3,5

Insgesamt konnten 275 Patienten, 242 Männer und 33 Frauen, mit einem Durchschnittsalter von 49,8 ($\pm$ 7,6) Jahren in die Auswertung eingeschlossen werden.

2.2. Untersuchungsgang

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht über den Untersuchungsgang der Studie.

Tab. 8: Untersuchungsgang der Studie (T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung).

Untersuchungsgang		Ort der Datenerhebung / -bearbeitung		
Verlauf	Inhalt	Klinik Roderbirken	Deutsche Sporthochschule	KKSK / IMSIE
1. Tag	Aufnahmeuntersuchung, Echokardiographie	T1		
2. Tag	Spiroergometrie mit Laktatbestimmung; Laborentnahme	T1		
3. Tag	Randomisierung		X	
3.-19. Tag	Fahrradergometertraining	X		
20. Tag	Laborentnahme	T2		
20. Tag	Spiroergometrie mit Laktatbestimmung	T2		
21. Tag	Entlassung			
	Statistische Auswertung und Abschlussbericht	X	X	X

2.2.1. Integration des Untersuchungsablaufs in die Rehabilitationsmaßnahme

Der Untersuchungsablauf wurde wie folgt in den klinischen Alltag der Rehabilitationsklinik integriert.

Rehatag 1: Anamnesegegespräch, klinische Untersuchung und Echokardiographie mit visueller Einschätzung der linksventrikulären Pumpfunktion.

Bei Erfüllung der Einschlusskriterien, Vorstellung der Studie mit Aufklärung. Einverständnis des Patienten innerhalb der nächsten 24 Stunden.

Rehatag 2: Blutabnahme zur Bestimmung der Laborparameter (BB, BZ, Creatinin, Gesamt-, LDL- und HDL-Cholesterin sowie Triglyzeride).

Spiroergometrische Untersuchung mit Laktatmessung.

Bei Erfüllung aller Einschlusskriterien Randomisierung in die entsprechende Trainingsgruppe.

Rehatage 3 bis 19: An allen Werktagen (außer Samstag) Teilnahme am Computer gesteuerten Ergometertraining (mit EKG-Monitoring) mit der festgelegten Trainingsintensität.

Rehatag 20: Spiroergometrie und Laktatmessung.

Rehatag 21: Entlassung (morgens).

2.2.2. Echokardiographie

Alle Patienten erhielten im Rahmen der Aufnahmeuntersuchung in der Klinik eine Echokardiographie einschließlich Doppler-Echokardiographie und farbkodierter Doppler-Echokardiographie (Hewlett-Packard Sonos 5500, 2,5-MHz-Schallkopf). Für die Studie diente diese primär zur Überprüfung der linksventrikulären Pumpfunktion bzw. evtl. anderer Ausschlusskriterien.

2.2.3. Spiroergometrie

Alle Patienten absolvierten zu Beginn und am Ende der Rehabilitationsmaßnahme eine spiroergometrische Untersuchung (Firma Jaeger®, Oxycon Pro) in sitzender Position auf einem drehzahlunabhängigen Fahrradergometer (Firma Ergoline® ergoselect 200 K, vgl. Abbildung 3). Während der ärztlich überwachten Untersuchung wurde ein 12-Kanal-EKG abgeleitet. Die Belastung wurde analog den Empfehlungen der WHO als Stufenbelastung gewählt (Fletcher et al. 2001). Ausgehend von einer Anfangsbelastung von 25 Watt erfolgte alle 2 Minuten eine Steigerung um 25 Watt bis zur subjektiven Erschöpfung oder bis zum Auftreten einer der üblichen Abbruchgründe (Trappe & Löllgen 2000). Als Ausbelastungskriterium wurde zusätzlich ein respiratorischer Quotient (RQ) von $\geq 1,1$ definiert. Gegen Ende jeder Belastungsstufe erfolgte die Messung der Herzfrequenz und des Blutdrucks, die Blutentnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen zur Bestimmung der Laktatkonzentration sowie die Frage nach der subjektiven Einschätzung des Belastungsempfindens auf der RPE-Skala (vgl. 2.2.4.). Kontinuierlich⁶ wurden die spirometrischen

⁶ Analyse jedes einzelnen Atemzuges (breath by breath).

Parameter erhoben und die Spitzen-Sauerstoff-Aufnahme⁷ ($\text{VO}_{2\text{peak}}$), die Spitzen-Sauerstoff-Aufnahme/kg Körpergewicht ($\text{VO}_{2\text{peak}}$ ml/kg/min) und die maximal erreichte Wattzahl (W_{peak}) bestimmt.



Abb. 3: Spirometrie der Firma Jaeger® (Oxycon Pro) und Fahrradergometer der Firma Ergoline® (ergoselect 200 K).

2.2.4. Zustands- und Empfindungsskala

Zur Quantifizierung des subjektiven Belastungsempfindens wurde die RPE-Skala⁸ nach Borg/Noble (1974) eingesetzt (vgl. Abbildung 4). In den letzten Sekunden jeder Belastungsstufe wurde ein RPE-Wert zur Bestimmung der subjektiven Belastungswahrnehmung zwischen 6 und 20 erfragt.

⁷ In dieser Arbeit wird die $\text{VO}_{2\text{max}}$ identisch mit der $\text{VO}_{2\text{peak}}$ betrachtet, da damit die im Belastungstest maximal ermittelte Sauerstoffaufnahme gemeint ist.

⁸ RPE: Scale for Ratings of Perceived Exertion.

Aktueller Anstrengungsgrad (RPE – Skala)	
20	
19	sehr, sehr anstrengend
18	
17	sehr anstrengend
16	
15	anstrengend
14	
13	etwas anstrengend
12	
11	leicht
10	
9	sehr leicht
8	
7	sehr, sehr leicht
6	

Abb. 4: The RPE Scale for Ratings of Perceived Exertion (in Anlehnung an Borg & Noble 1974).

2.2.5. Bestimmung der Laktatkonzentration

Zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentrationen wurde in Ruhe und in den letzten Sekunden jeder Belastungsstufe Blut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen. Zur kapillaren Blutgewinnung wurde mit einer Einmallinganzette in das hyperämisierte Ohrläppchen gestochen und 20 µl arterielles Kapillarblut in geeichten end-to-end Glas-Mikropipetten der Firma EKF-diagnostic GmbH, Barleben, entnommen. Diese wurden in verschließbare 2ml Safe-Lock-Reaktionsgefäße gesteckt, die mit 1ml Hämolyselösung vorgefüllt waren. Vermischt wurde die Lösung direkt nach der Entnahme manuell für circa 20 Sekunden.

Die Bestimmung der Laktatkonzentration erfolgte direkt nach der Entnahme mit dem Gerät „BIOSN C-line“ der Firma EKF-diagnostic GmbH, Barleben (vgl. Abbildung 5), nach dem enzymatisch-amperometrischen Messprinzip mittels EKF-Chipsensoren.

Zur Qualitätssicherung erfolgte eine Doppelbestimmung jeder Probe. Die Kalibrierung wurde mittels Kontrolllösungen mit definierten Laktatkonzentrationen bei jeder Messung überprüft.



Abb. 5: BIOSEN-C-line, Barleben.

2.2.6. Ergometertraining

Die Patienten absolvierten das Fahrradergometertraining mit Monitoring individuell gesteuert auf elektromagnetisch gebremsten Fahrradergometern der Firma Ergoline (ergometrics 800, angeschlossen an 1-Kanal-Monitore und 1-Kanal-EKG-Recorder).

Die Trainingsintensität des Ergometertrainings bestimmte sich gemäß der Randomisierung in einer Gruppe anhand einer herzfrequenzbasierten und in der anderen Gruppe mittels einer laktatbasierten Berechnungsweise.

2.2.6.1 Herzfrequenzbasiertes Training

Die Trainingsbelastung wurde analog der Belastung gewählt, die im Belastungs-EKG bei 60% der symptomlimitierten Herzfrequenzreserve erzielt wurde. Die Trainingsherzfrequenz ist mit der Karvonenformel⁹ ermittelt worden (in Anlehnung an Fletcher et al. 2001):

$$[(\text{Maximale HF bei symptomlimitierter Belastbarkeit} - \text{Ruhe-HF}) \times 60\%] + \text{Ruhe-HF}$$

Die symptomlimitierte Belastbarkeit wurde als die höchste Stufe im Belastungs-EKG definiert, bei der keine pathologischen Symptome auftraten.

⁹ Vgl. Karvonen et al. 1957.

2.2.6.2 Laktatbasiertes Training

Die Belastung wurde mit einer Intensität analog zu 60% der Belastung gewählt, die im Belastungs-EKG bei einem Laktatwert von 3,0 mmol/Liter Blut verbunden war.

Dabei wurde die mit 3mmol/l Laktat korrespondierende Belastung mittels linearer Interpolation zwischen zwei Laktatwerten über bzw. unter 3mmol/l berechnet (in Anlehnung an Mader et al. 1976):

$$y_u = y_1 + (x_u - x_1) / (x_2 - x_1) * (y_2 - y_1)$$

dabei galt:

- y_u : Wattbelastung bei 3,0 mmol/l
- y_1 : Wattbelastung der Stufe mit Laktatwert <3,00 mmol/l
- y_2 : Wattbelastung der Stufe mit Laktatwert >3,00 mmol/l
- x_u : Laktat-Zielwert: 3,00 mmol/l
- x_1 : Laktatwert der Stufe mit Laktatwert <3,00 mmol/l
- x_2 : Laktatwert der Stufe mit Laktatwert >3,00 mmol/l

2.2.6.3 Phaseneinteilung des Ergometertrainings

Die Phaseneinteilung des Ergometertrainings wird in Tabelle 9 dargestellt.

Tab. 9: Phaseneinteilung des Ergometertrainings (in Anlehnung an Bjarnason-Wehrens 2007).

Phase	Inhalt	Dauer
Aufwärmphase I	Belastungsintensität: 25 Watt	2 Minuten
Aufwärmphase II	Allmähliche Steigerung der Belastungsintensität auf die empfohlene Trainingsbelastung, nach Vorgaben des individuellen Trainingsprotokolls	5 Minuten
Trainingsphase	Bei 100% der empfohlenen Trainingsbelastung, entsprechend den Vorgaben des individuellen Trainingsprotokolls	Individuelle Trainingsphasendauer und individuelle Steigerung
Erholungsphase	Erholungs-/Abwärmphase mit einer allmählichen Reduzierung der Belastung auf 1 Watt	3 Minuten

Die Dauer der Trainingsphase war unter Berücksichtigung des Energieumsatzes (vgl. 2.2.6.4) abhängig vom individuellen Trainingsprotokoll

bzw. der Gruppenzuordnung. Da der Trainingsumfang in beiden Gruppen gleich groß gehalten werden sollte, musste aufgrund der unterschiedlichen Trainingsintensitäten die Belastungsdauer angepasst werden. Als Referenzwert wurde der Kalorienumsatz der laktatbasierten Gruppe bei einer Trainingsdauer von 10 min bestimmt. An den ersten vier Trainingstagen betrug die Dauer in der laktatbasierten Gruppe 10 min und verlängerte sich ab dem fünften Trainingstag um 1 min/Trainingseinheit. Die initiale Trainingsdauer der herzfrequenzbasierten Gruppe verkürzte oder verlängerte sich in Abhängigkeit des berechneten Kalorienumsatzes entsprechend. Auch sie wurde ab dem fünften Tag um 1 min/Trainingseinheit erhöht.

Jede Trainingseinheit wurde hinsichtlich Belastungsintensität, Belastungsdauer und eventuell aufgetretener subjektiver oder objektiver Auffälligkeiten dokumentiert.

2.2.6.4 Trainingsumfang

Der Trainingsumfang, gemessen in Kalorienumsatz pro Trainingseinheit, wurde durch eine individuell berechnete Belastungsdauer in beiden Trainingsgruppen gleich gehalten. Trotz unterschiedlicher Trainingsintensitäten ist somit der Gesamtenergieumsatz des Ergometertrainings in beiden Gruppen vergleichbar gehalten worden. Der Energieverbrauch wurde mittels indirekter Kalorimetrie berechnet. In die Berechnung des Energieverbrauchs flossen die spirometrisch ermittelten Werte der Sauerstoffaufnahme (VO_2) und des respiratorischen Quotienten (RQ) als Quotient aus Kohlendioxydabgabe (VCO_2) und Sauerstoffaufnahme (VO_2) ein. Die Berechnung erfolgte für jede einzelne Belastungsstufe der Eingangsuntersuchung. Die verwendete Formel lautet:

$$\text{EE}_{\text{Stunde}} = \text{VO}_2 \cdot (3,9 + 1,1 \cdot \text{RQ}) \cdot 60$$

Einheiten: $\text{EE}_{\text{Stunde}} = \text{kcal/h}$

$\text{VO}_2 = \text{l/min}$

$\text{RQ} = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$

(vgl. Roche et al. 1996)

Als Referenzwert für den Trainingsumfang galt der Energieverbrauch der laktatbasierten Trainingsgruppe. Die Trainingsdauer der herzfrequenzbasierten Gruppe wurde entsprechend angepasst (vgl. 2.2.6.3). Die Belastungsintensität und -dauer in der Aufwärmphase war für beide Gruppen identisch und musste somit hinsichtlich des Energieumsatzes nicht angepasst werden.

Tabelle 10 zeigt einen Überblick über die Anzahl der Trainingstage des Ergometertrainings. Während der 3-wöchigen Rehabilitation absolvierten die Patienten im Mittel $10,7 \pm 1,1$ Trainingseinheiten auf dem Fahrradergometer (Herzfrequenzgruppe $10,8 \pm 1,2$, Laktatgruppe $10,6 \pm 1$) mit einer mittleren Trainingsdauer von $21,5 \pm 1,5$ min pro Trainingseinheit.

Tab. 10: Absolvierte Trainingstage des Ergometertrainings.

Trainingstage Ergometertraining			Herzfrequenzgruppe (n=138)		Laktatgruppe (n=137)	
n=275	n	%	n	%	n	%
7 Trainingstage	1	,4	-	-	1	,7
8 Trainingstage	10	3,6	7	5,1	3	2,2
9 Trainingstage	25	9,1	12	8,9	13	9,5
10 Trainingstage	68	24,7	30	21,7	38	27,7
11 Trainingstage	106	38,5	51	37	55	40,1
12 Trainingstage	58	21,1	32	23,2	26	19
13 Trainingstage	7	2,5	6	4,3	1	,7

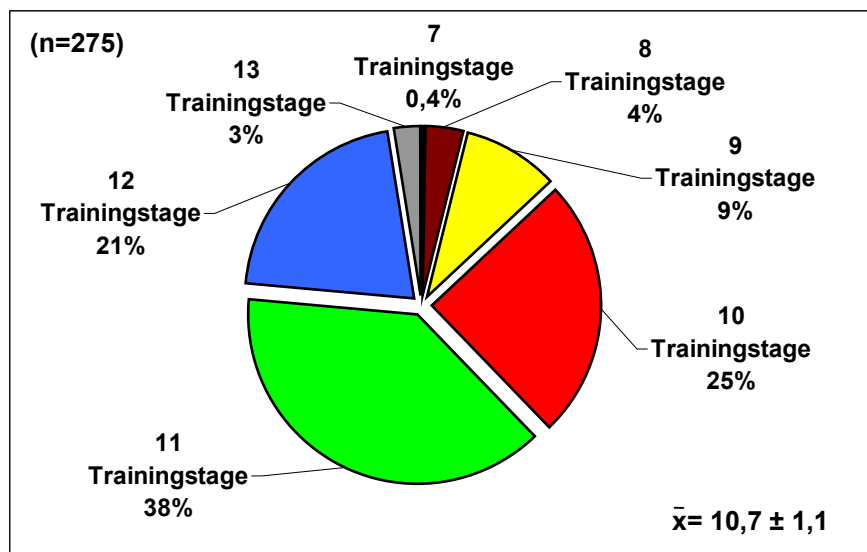


Abb. 6: Trainingshäufigkeit der Gesamtgruppe.

2.3. Statistik

Die statistischen Messzahlen der Untersuchungsergebnisse wurden unter Zuhilfenahme des Datenverarbeitungsprogramms SPSS¹⁰ für Windows, Version 12.0, erstellt. Wegen der Vereinheitlichung und Verzicht auf Normalverteilungsannahme sind alle statistischen Tests mit Hilfe von nichtparametrischen Verfahren durchgeführt worden. Die Darstellung der Abbildungen im Ergebnisteil erfolgte unter Zuhilfenahme des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel.

Die deskriptive Statistik stellt im Sinne quantitativer Informationen einzelner Variablen die Häufigkeiten in Form der numerischen Anzahl der Fälle (n) oder in ihrer prozentualen Verteilung dar (Bühl & Zöfel 2002, Bös et al. 2000). Bei der Deskription der untersuchten Merkmale wurden u.a. als Lagemaß und zur Darstellung der zentralen Tendenz der Mittelwert ($\bar{x}$) und die Standardabweichung (s) berechnet.

Zur Berechnung des p-Wertes abhängiger Variablen wurde der Wilcoxon-Rangsummen-Test (Signed-Rank-Test) verwendet. Die p-Werte unabhängiger Stichproben wurden mittels des Wilcoxon-Rangsummen-Tests berechnet.

Für die im Ergebnisteil dargestellten Berechnungen gelten die in Tabelle 11 aufgeführten Signifikanzschranken.

Tab. 11: Signifikanzschranken (vgl. Sachs 1992, Willimczik 1992).

Darstellung	Bezeichnung	Signifikanzschranken
n.s.	nicht signifikant	$p > 0,05$
*	signifikant	$p \leq 0,05$
**	hoch signifikant	$p < 0,01$

¹⁰ SPSS: Statistical Package for Social Science.

2.3.1. Sonstige Berechnungsverfahren

2.3.1.1 Leistung bei definierten Laktatwerten

Für die Leistung (in Watt) der Laktatwerte bei 2.0, 2.5 oder 3.0 mmol/l als Grenzwert wurde zuerst der benachbarte Tupel des Grenzwertes (p_1, p_2) mit den dazugehörenden (w_1, w_2) bestimmt. Dann wurde die jeweilige Wattzahl mit Hilfe der Näherungsformel

$$f(x) = w_1 + (w_2 + w_1) \cdot (x - p_1) / (p_2 + p_1),$$

für $x \in \{2.0, 2.5, 3.0\}$ errechnet. Wenn der jeweilige Laktatwert bereits in Ruhe vorkam, wurde dieser ignoriert.

2.3.1.2 Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten

Für die Berechnung der Herzfrequenz in Abhängigkeit vom Laktatwert bei 2.0, 2.5 oder 3.0 mmol/l als Grenzwert, wurde wieder zuerst der benachbarte Tupel des Grenzwertes (p_1, p_2) mit den dazugehörenden (f_1, f_2) bestimmt.

Dann wurde die jeweilige Herzfrequenz mit Hilfe der Näherungsformel,

$$f(x) = f_1 + (f_2 + f_1) \cdot (x - p_1) / (p_2 + p_1),$$

für $x \in \{2.0, 2.5, 3.0\}$ errechnet. Wenn der jeweilige Laktatwert bereits in Ruhe vorkam, wurde dieser ignoriert.

2.3.1.3 Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten

Für die Leistung in Watt in Abhängigkeit von der Herzfrequenz bei 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120 min⁻¹ als Grenzwert wurde zuerst der benachbarte Tupel des Grenzwertes (p_1, p_2) mit den dazugehörenden (w_1, w_2) bestimmt.

Dann wurde die jeweilige Wattzahl mit Hilfe der Näherungsformel

$$f(x) = w_1 + (w_2 + w_1) \cdot (x - p_1) / (p_2 + p_1),$$

für $x \in \{2.0, 2.5, 3.0\}$ errechnet. Wenn die jeweilige Herzfrequenz bereits in Ruhe vorkam, wurde als dazugehörende Wattzahl "0" eingesetzt.

2.4. Hypothesen und Fragestellungen

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zwei unterschiedliche Trainingsempfehlungen für das Ergometertraining in der kardiologischen Rehabilitation zu untersuchen und miteinander zu vergleichen. Dadurch soll der während der Rehabilitation erreichbare Trainingseffekt auf die körperliche Leistungsfähigkeit und die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit als wichtige Voraussetzung für die berufliche und soziale Reintegration verbessert werden.

Hierzu werden die folgenden Hypothesen aufgestellt:

1. Bei der Ermittlung der individuellen Trainingsbelastung ergeben sich nach den beiden Methoden unterschiedliche Trainingsempfehlungen.
2. Durch die Belastungssteuerung auf der Basis von metabolischen Parametern erhöht sich die Effizienz des Ergometertrainings, gemessen an der Verbesserung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit bei 2,5 sowie 3,0 mmol Laktat pro Liter Blut.
3. Es werden 20% bessere Ergebnisse mit der metabolischen Belastungssteuerung erzielt.

Aus den aufgestellten Hypothesen ergeben sich folgende Fragestellungen, auf die im Ergebnisteil näher eingegangen wird.

1. Führen unterschiedliche methodische Konzeptionen zur Bestimmung der Trainingsintensität – bei Orientierung an der Herzfrequenzreserve bzw. an dem metabolischen Parameter Laktat – zu unterschiedlichen Trainingsempfehlungen hinsichtlich der Steuerungsparameter (Trainingsleistung in Watt und Trainingsherzfrequenz) für das Training in der kardiologischen Rehabilitation?
2. Welches Verfahren erzielt die höchste Effizienz zur Steigerung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, gemessen an der Veränderung der Leistung bei 2,5 und 3,0 mmol Laktat pro Liter Blut?

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der OpErgo-Studie dargestellt und mittels Grafiken und Tabellen abgebildet. Ausgewertet wurden die Daten von 275 Patienten, die die Studie vollständig durchlaufen haben. In die statistischen Berechnungen wurden jeweils nur diejenigen Patienten einbezogen, deren einzelne Untersuchungsdaten sowohl bei der Eingangs- als auch bei der Ausgangsuntersuchung erhoben werden konnten. Bei 138 Patienten wurde die Trainingsempfehlung für das Ergometertraining herzfrequenzbasiert berechnet, bei 137 bildeten die Laktatwerte die Berechnungsgrundlage.

3.1. Trainingsempfehlungen

3.1.1. Trainingsintensität

Tabelle 12 zeigt die empfohlene Trainingsbelastung in Watt und die daraus abgeleiteten Variablen einer möglichen Trainingssteuerung differenziert nach Trainingsgruppen.

Tab. 12: Trainingsempfehlungen (Watt) und die daraus abgeleiteten Variablen der Gesamtgruppe differenziert nach Art der Trainingssteuerung (der p-Wert ist unter Anwendung des zweiseitigen Wilcoxon-Rangsummen-Tests für unabhängige Stichproben berechnet). VO_{2peak} =maximale Sauerstoffaufnahme; VO_{2AT} =Sauerstoffaufnahme bei anaerober Schwelle.

Trainingsempfehlungen		Wenn herzfrequenzbasiert		Wenn laktatbasiert		p-Wert
Trainingsintensität in	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Watt	275	80,4	26,4	55,9	13,5	< 0,001
% von VO_{2peak}	275	70,1	7,7	57,3	9,1	< 0,001
% der symptomlimitierten Belastbarkeit	275	59,9	9,4	43,1	8,1	< 0,001
% der Leistung bei VO_{2AT}	274	107,5	43,9	86,5	32,1	< 0,001

Die Trainingsintensität in Watt war bei herzfrequenzbasierter Berechnungsweise hoch signifikant höher (+44%) als die empfohlene Intensität in der laktatbasierten Gruppe ($p < 0,001$). Der mittlere Unterschied der Trainingsintensität betrug 24,5 Watt (vgl. Abbildung 7).

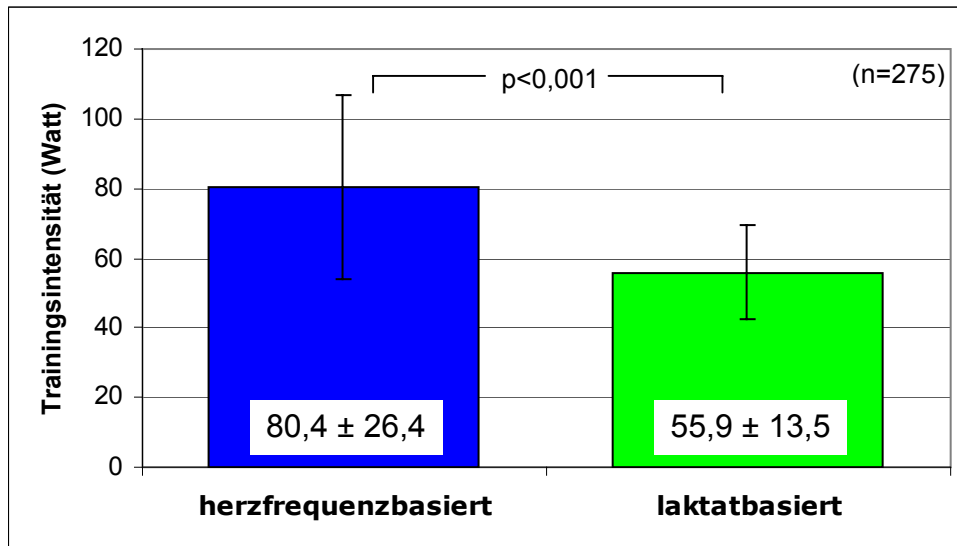


Abb. 7: Mittlere Trainingsintensität in Watt, differenziert nach Trainingsempfehlungen.

Bezogen auf den prozentualen Anteil der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}) lag die empfohlene Trainingsintensität in der herzfrequenzbasierten Gruppe im Mittel hoch signifikant ($p < 0,001$) höher als in der laktatbasierten Gruppe (vgl. Abbildung 8).

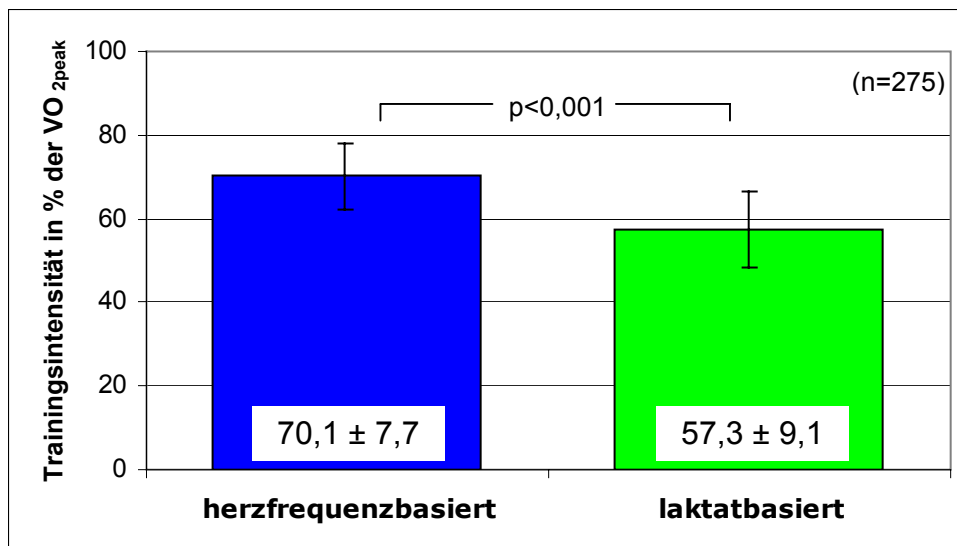


Abb. 8: Mittlere Trainingsintensität in Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}), differenziert nach Trainingsempfehlungen.

Hoch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Trainingsempfehlungen zeigten sich ebenfalls beim prozentualen Anteil der Trainingsintensität an der symptomlimitierten Belastbarkeit. Die berechnete Trainingsempfehlung war hier in der herzfrequenzbasierten Gruppe hoch signifikant höher ($p < 0,001$) als in der laktatbasierten Gruppe. Bezogen auf die Leistung an der

ventilatorischen Schwelle fielen die Trainingsempfehlungen für die herzfrequenzbasierte Gruppe ebenfalls hoch signifikant ($p < 0,001$) höher aus. Die Ergebnisse demonstrieren bei allen beobachteten Parametern eine statistisch bedeutsam höhere Trainingsintensität in der herzfrequenzbasierten Gruppe.

3.1.2. Trainingsherzfrequenz

Tabelle 13 zeigt die Empfehlungen der Trainingsherzfrequenz und die daraus abgeleiteten Variablen bezogen auf die im Belastungstest erzielten Herzfrequenzwerte differenziert nach Trainingsempfehlungen.

Tab. 13: Trainingsempfehlungen (Trainingsherzfrequenz) und die daraus abgeleiteten Variablen der Gesamtgruppe differenziert nach Trainingssteuerung (der p-Wert ist unter Anwendung des zweiseitigen Wilcoxon-Rangsummen-Tests für unabhängige Stichproben berechnet). HF=Herzfrequenz; HF_{max} =maximale Herzfrequenz; VO_2AT =Sauerstoffaufnahme bei anaerober Schwelle.

Trainingsempfehlungen		Wenn herzfrequenzbasiert		Wenn laktatbasiert		p-Wert
Trainingsherzfrequenz in	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Schläge/min	275	103	13,3	92,2	12,1	< 0,001
% der HF_{max}	275	79,1	4,7	71,3	9	< 0,001
% der HF bei der max. symptomlim. Belastbarkeit	275	80	3,5	72,1	9,1	< 0,001
% der HF bei $VO_2 AT$	275	100,3	20,5	90,1	17	< 0,001

Die empfohlene Trainingsherzfrequenz lag in der herzfrequenzbasierten Gruppe hoch signifikant höher (+12%) als die Empfehlung für die laktatbasierte Gruppe ($p < 0,001$). Der mittlere Unterschied der Trainingsherzfrequenz betrug 10,8 S/min (vgl. Abbildung 9).

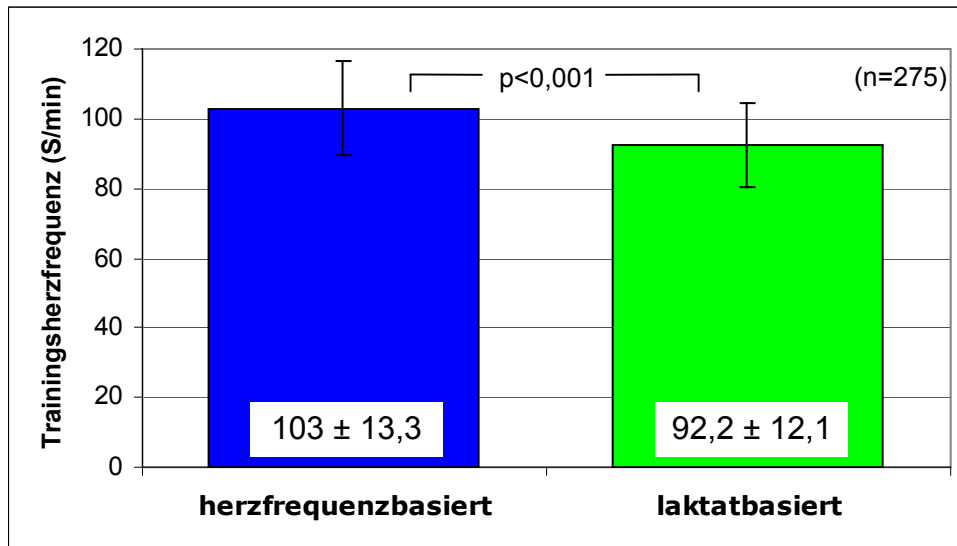


Abb. 9: Mittlere Trainingsherzfrequenz (S/min), differenziert nach Trainingsempfehlungen.

In Relation zur max. Herzfrequenz und der Herzfrequenz bei maximaler symptomlimitierter Belastbarkeit waren die ausgesprochenen Trainingsempfehlungen für die herzfrequenzbasierte Gruppe hoch signifikant höher (jeweils $p < 0,001$). Bezogen auf die Herzfrequenz an der ventilatorischen anaeroben Schwelle unterschied sich die berechnete Trainingsherzfrequenz ebenfalls hoch signifikant zwischen den beiden Trainingsgruppen.

Bei allen aus der Herzfrequenz abgeleiteten Variablen zeigte sich eine hoch signifikant höhere Trainingsherzfrequenz in der herzfrequenzbasierten Gruppe.

3.1.3. Laktatkonzentration gemäß Trainingsempfehlung

Ausgehend von den im Belastungs-EKG gemessenen Laktatwerten und der ausgesprochenen Trainingsempfehlung wurde für jeden Patienten der beiden Trainingsgruppen ein Laktatwert berechnet. Tabelle 14 zeigt einen Überblick, wie hoch die Laktatkonzentration bei den ausgesprochenen Trainingsempfehlungen in beiden Gruppen im Mittel lag.

Tab. 14: Laktatwerte (mmol/l) bei den jeweils berechneten Trainingsempfehlungen in der Gesamtgruppe (der p-Wert ist unter Anwendung des zweiseitigen Wilcoxon-Rangsummen-Tests für unabhängige Stichproben berechnet).

Laktatwert bei Trainings-empfehlungen Gesamtgruppe	Wenn herzfrequenzbasiert (n=275)				Wenn laktatbasiert (n=275)				p-Wert
	$\bar{x}$	s	min.	max.	$\bar{x}$	s	min.	max.	
Laktat (mmol/l)	2,6	,9	1,2	6,3	1,8	,3	1,0	2,7	< 0,001

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die Verteilung der berechneten Laktatwerte der Gesamtgruppe bei Orientierung an der herzfrequenzbasierten Trainingsempfehlung einerseits bzw. an der laktatbasierten Trainingsempfehlung andererseits.

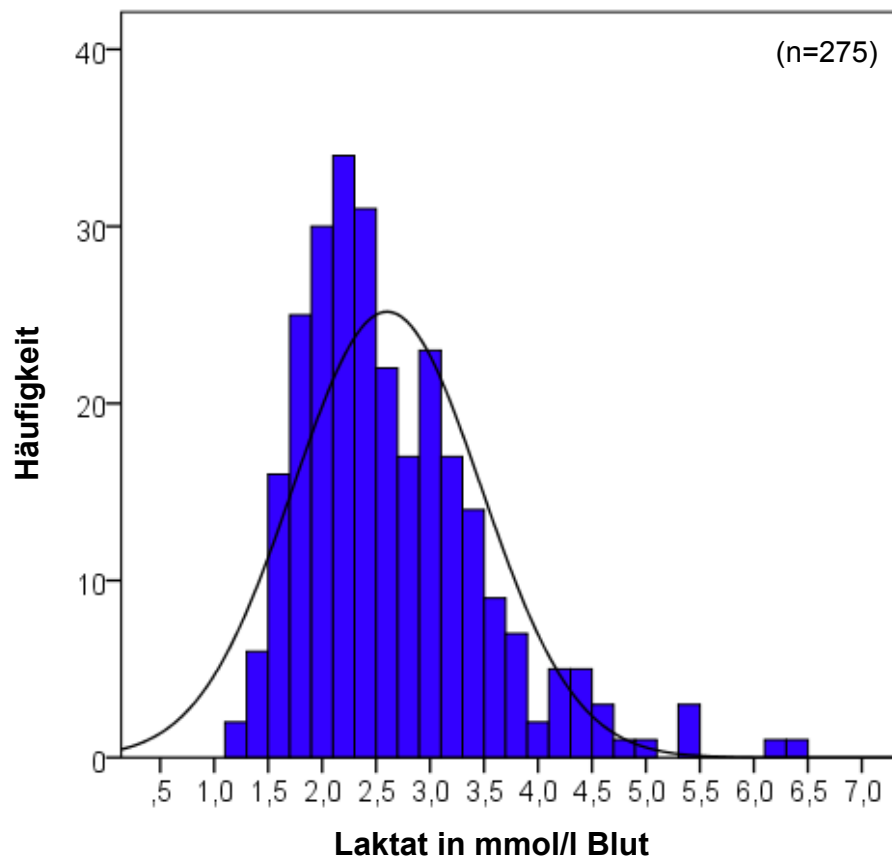


Abb. 10: Verteilung der berechneten Laktatwerte der Gesamtgruppe bei einer möglichen herzfrequenzbasierten Trainingsempfehlung.

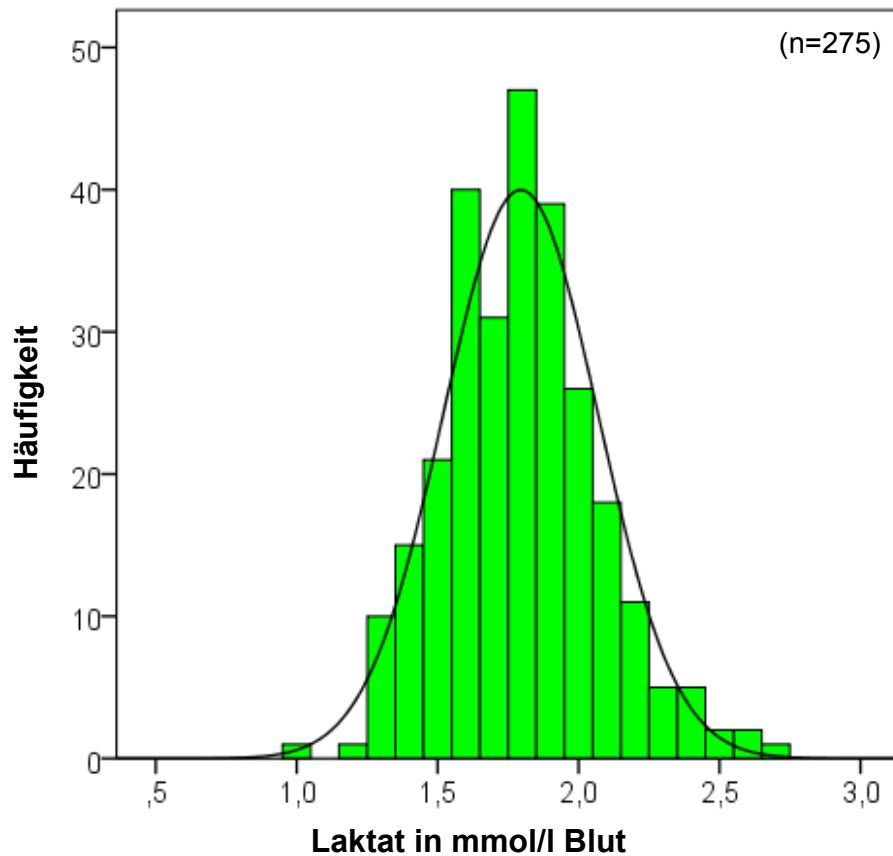


Abb. 11: Verteilung der berechneten Laktatwerte der Gesamtgruppe bei einer möglichen laktatbasierten Trainingsempfehlung.

Die berechneten Laktatwerte für die jeweilige Trainingsgruppe nach Gruppenzuordnung der Studienteilnehmer zeigt Tabelle 15.

Tab. 15: Laktatwerte (mmol/l) bei den jeweils berechneten Trainingsempfehlungen je Trainingsgruppe (der p-Wert ist unter Anwendung des zweiseitigen Wilcoxon- Rangsummen-Tests für unabhängige Stichproben berechnet).

Laktatwert bei Trainings-empfehlungen je Trainingsgruppe	Wenn herzfrequenzbasiert (n=138)				Wenn laktatbasiert (n=137)				p-Wert
	$\bar{x}$	s	min.	max.	$\bar{x}$	s	min.	max.	
Laktat (mmol/l)	2,6	,8	1,2	5,4	1,8	,2	1,3	2,4	< 0,001

Die ausgesprochenen Trainingsempfehlungen ergeben hoch signifikant ($p < 0,001$) unterschiedliche metabolische Belastungen für die beiden Trainingsgruppen. Die mittlere metabolische Belastung lag bei herzfrequenzbasierter Trainingsempfehlung hoch signifikant höher als in der laktatbasierten Gruppe. Auffallend ist die hohe Varianz in der herzfrequenzbasierten Gruppe, die sich durch eine Bandbreite der Laktatwerte von 1,2 bis 5,4 mmol/l Blut widerspiegelt. In der laktatbasierten Gruppe lagen hingegen

die Laktatwerte bei der berechneten Trainingsempfehlung zwischen 1,3 und 2,4 mmol/l Blut.

Die Abbildungen 12 und 13 stellen die Verteilung der berechneten Laktatwerte bei den jeweiligen Trainingsempfehlungen in beiden Trainingsgruppen dar.

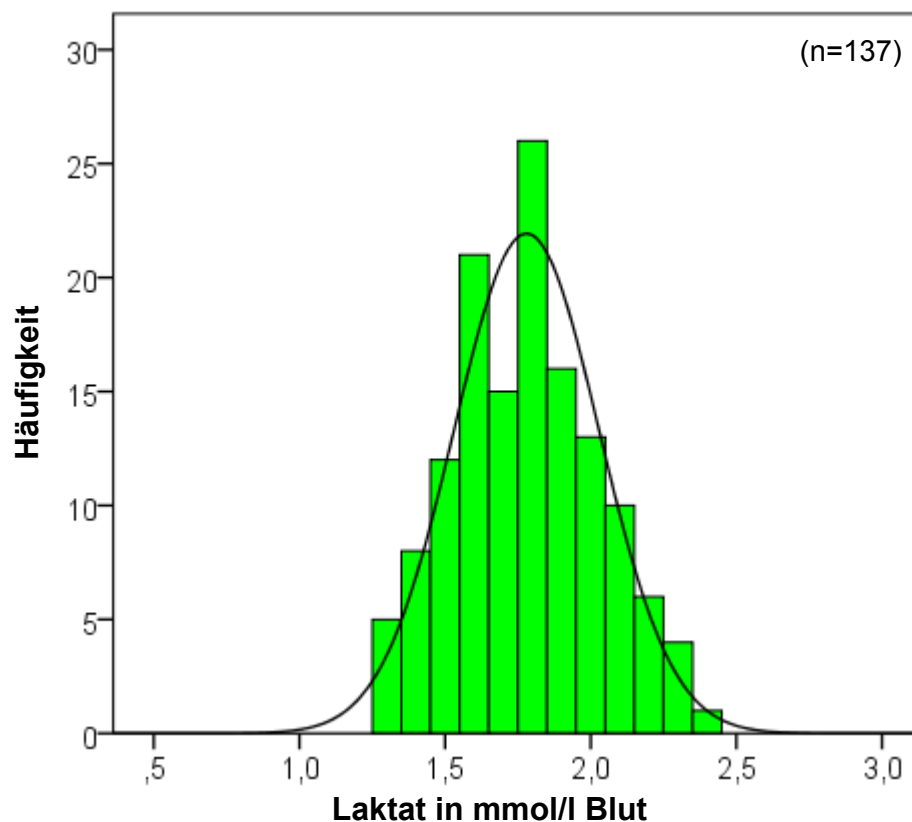


Abb. 12: Verteilung der berechneten Laktatwerte bei der ausgesprochenen Trainingsempfehlung der laktatbasierten Gruppe.

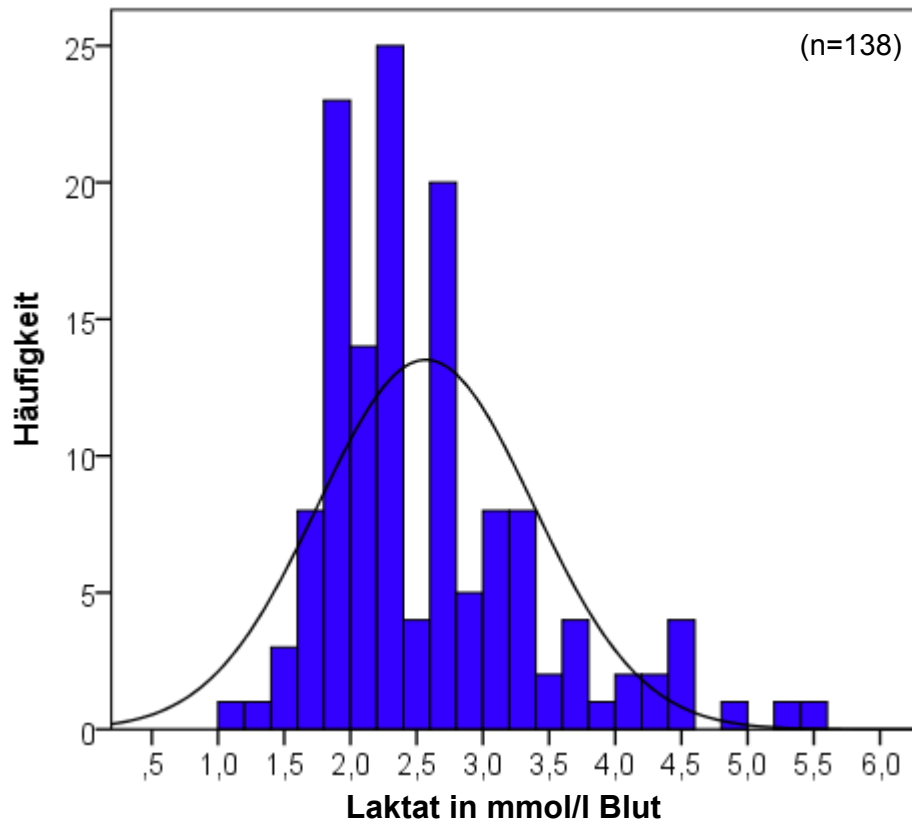


Abb. 13: Verteilung der berechneten Laktatwerte bei der ausgesprochenen Trainingsempfehlung der herzfrequenzbasierten Gruppe.

3.2. Leistung und Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten und Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten

3.2.1. Leistung bei definierten Laktatwerten

Eine Verbesserung der maximal erreichten Ergometerleistung in Watt könnte auf einer subjektiv höheren Ausbelastung basieren. Eine metabolisch messbare Verbesserung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit konnte anhand der durch die Rehabilitation erzielten Veränderung der Leistung bei definierten Laktatwerten untersucht werden. Aufgrund der eingeschränkten Belastbarkeit der KHK-Patienten wurde die Leistung bei den Laktatwerten 2,0, 2,5 und 3,0 mmol/Liter Blut berechnet. Diese definierten Laktatwerte wurden von einem Großteil des Untersuchungskollektivs sowohl im Eingangs- als auch in der Ausgangsuntersuchung erreicht. Tabelle 16 zeigt die durch die Trainingsintervention erzielten Veränderungen der mittleren Leistung bei definierten Laktatwerten, differenziert nach Trainingsgruppen.

Tab. 16: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei definierten Laktatwerten, differenziert nach Trainingsgruppen (p-Wert* = Vergleich der erzielten Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen). p-Wert**= Veränderung innerhalb der jeweiligen Gruppe). p-Wert* T1-T2-Differenz zwischen den Gruppen (berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Wilcoxon-Rangsummen-Tests für unabhängige Stichproben) p-Wert** T1-T2-Differenz innerhalb der Gruppen (berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Signed-Rank Tests für abhängige Stichproben); T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung.

Leistung (in Watt) bei definierten Laktatwerten	Herzfrequenzgruppe					Laktatgruppe					p-Wert*
		T1		T2			T1		T2		
	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
2,0 mmol/l	129	67,3	21,8	73,9	21,8	131	64,8	20,2	69,3	20,2	0,12
p-Wert**	p<0,001					p<0,001					
2,5 mmol/l	134	80,2	23,9	88,3	22,8	135	80,5	21,1	85,5	20,5	0,06
p-Wert**	p<0,001					p<0,001					
3,0 mmol/l	128	93,9	23,4	100,6	22,7	136	92,9	21,9	97,6	22,2	0,13
p-Wert**	p<0,001					p<0,001					

In beiden Gruppen kam es bei allen definierten Laktatwerten zu einer hoch signifikanten Steigerung der erreichten Leistung ($p<0,001$). Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

Bei dem definierten Laktatwert von 2,5 mmol/l konnte die Leistung durch die Rehabilitation in der herzfrequenzbasierten Gruppe um 10,1% und in der laktatbasierten Gruppe um 6,2% gesteigert werden (vgl. Abbildung 14).

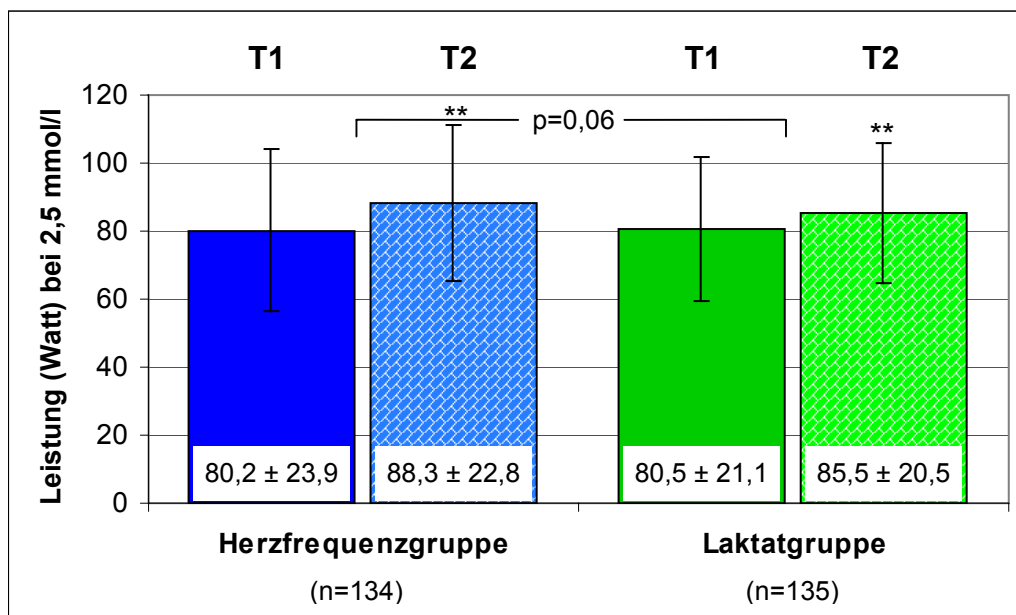


Abb. 14: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei 2,5 mmol/l, differenziert nach Trainingsgruppen (** hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung; T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung).

Bei der Leistung bei definierten Laktatwerten von 2,0 und 3,0 mmol/Liter Blut zeigte sich ebenfalls in beiden Gruppen eine hoch signifikante Verbesserung. Bei einem definierten Laktatwert von 2,0 mmol/Liter Blut konnte die Leistung um 10% (HF-Gruppe) bzw. 6,9% (Laktatgruppe) gesteigert werden. Bei 3,0 mmol/Liter Blut wurde eine Steigerung der Leistung um 7,1% (HF-Gruppe) bzw. um 5,1% (Laktatgruppe) erzielt (vgl. Abbildung 15). Ein signifikanter Unterschied der Leistungssteigerung zwischen den beiden Trainingsgruppen zeigte sich bei keinem der beobachteten Laktatwerte, auffällig war jedoch der Gruppenunterschied bei einem definierten Laktatwert von 2,5 mmol/Liter Blut ($p=0,06$).

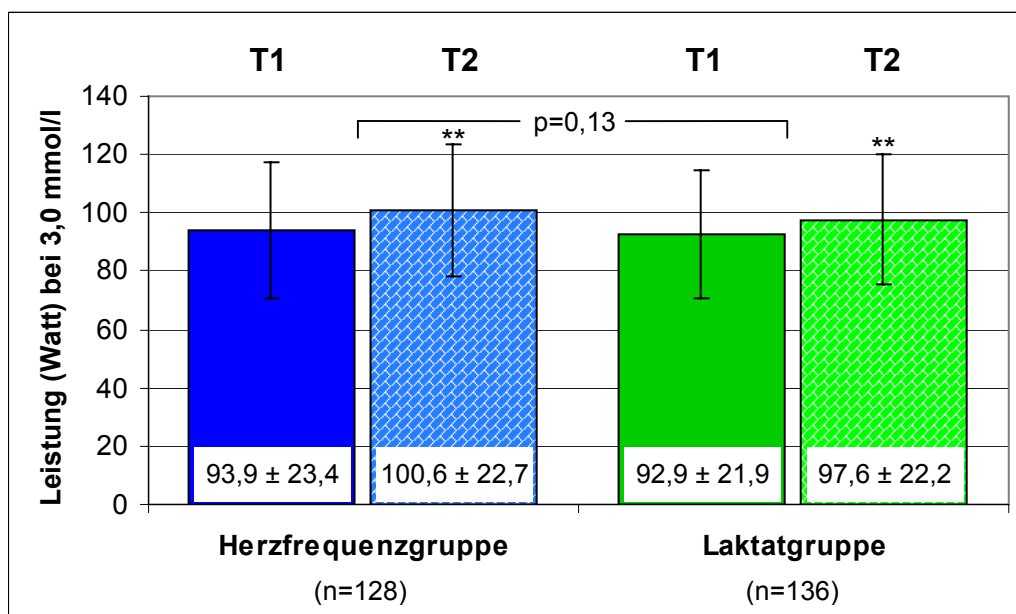


Abb. 15: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei 3,0 mmol/l, differenziert nach Trainingsgruppen (** hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung; T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung).

3.2.2. Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten

Die durch die Rehabilitation erzielten Veränderungen der Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten werden in Tabelle 17 differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

Tab. 17: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten, differenziert nach Trainingsgruppen (p-Wert* = Vergleich der erzielten Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen). p-Wert**= Veränderung innerhalb der jeweiligen Gruppe). p-Wert* ist berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Wilcoxon-Rangsummen-Tests für unabhängige Stichproben p-Wert** ist berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Signed-Rank-Tests für abhängige Stichproben; T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung.

Herzfrequenz (Schläge/min) bei definierten Laktatwerten	Herzfrequenzgruppe					Laktatgruppe					p-Wert*
		T1		T2			T1		T2		
	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
2,0 mmol/l	129	96,1	12,3	96,3	12,8	131	95,7	12,7	92,9	11,4	0,02
p-Wert**		n.s.					p=0,01				
2,5 mmol/l	134	102,6	12,9	102,3	13,3	135	101,9	13,2	99,7	11,8	0,09
p-Wert**		n.s.					p=0,03				
3,0 mmol/l	128	108,4	13,4	107,1	12,9	136	107,6	13,7	105,3	12,5	0,26
p-Wert**		p=0,008					p=0,008				

In der Laktatgruppe wurde eine signifikante Senkung der Herzfrequenz bei den definierten Laktatwerten von 2,0 und 2,5 mmol/l und eine hoch signifikante Senkung bei 3,0 mmol/l beobachtet.

In der herzfrequenzbasierten Gruppe konnte hingegen nur bei einem definierten Laktatwert von 3,0 mmol/l eine hoch signifikante Reduktion der Herzfrequenz festgestellt werden. Bei den definierten Laktatwerten von 2,0 mmol/l und 2,5 mmol/l wurde keine Veränderung festgestellt

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (p=0,02) zeigte sich jedoch nur bei einem definierten Laktatwert von 2,0 mmol/l (vgl. Abbildung 16).

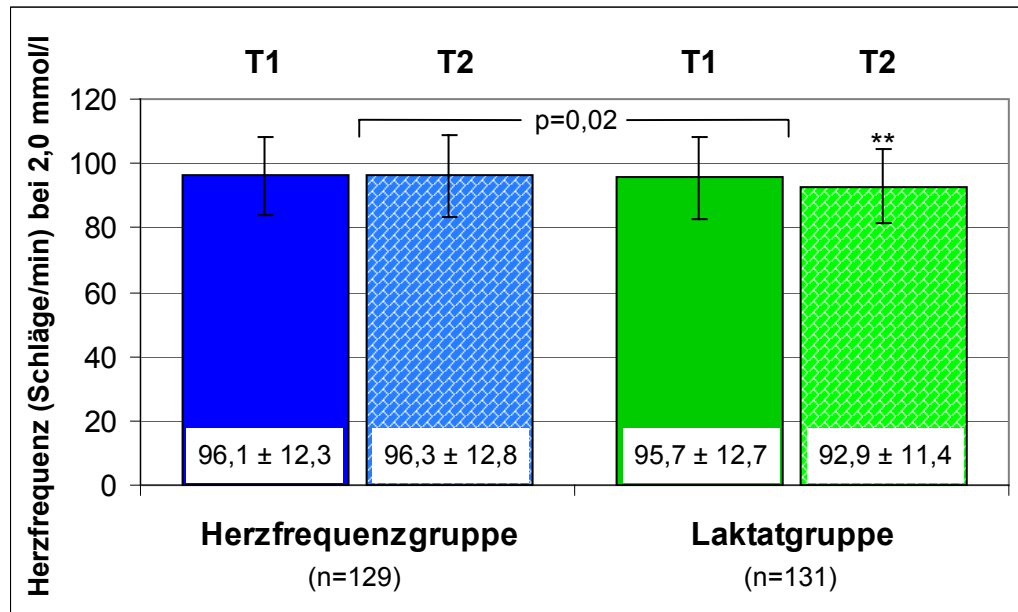


Abb. 16: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Herzfrequenz bei 2,0 mmol/l, differenziert nach Trainingsgruppen (** hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung; T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung).

Obwohl die erreichte Leistung bei definierten Laktatwerten durch die Rehabilitation hoch signifikant anstieg, blieb die Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten unverändert bzw. wurde signifikant gesenkt. Dies kann als ein Hinweis auf eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit mit einer Senkung der Herzfrequenz auf einer gegebenen Belastungsstufe bewertet werden.

3.2.3. Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten

Zur Messung eines möglichen Trainingserfolges wurde darüber hinaus die Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten gemessen. Tabelle 18 zeigt die durch die Rehabilitation erzielte Veränderung der mittleren Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten.

Tab. 18: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten, differenziert nach Trainingsgruppen (p-Wert = Vergleich der Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen). (p-Wert* = Vergleich der erzielten Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen). p-Wert** = Veränderung innerhalb der jeweiligen Gruppe). P-Wert* T1-T2-Differenz zwischen den Gruppen (berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Wilcoxon-Rangsummen-Tests für unabhängige Stichproben). p-Wert** T1-T2-Differenz innerhalb der Gruppen (berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Signed-Rank Tests für abhängige Stichproben); T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung.

Leistung (in Watt) bei definierten Herzfrequenzwerten	Herzfrequenzgruppe					Laktatgruppe					p-Wert*
		T1		T2			T1		T2		
	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
85 min ⁻¹	138	40,1	28,3	46,5	29,3	136	39,2	28,1	47,7	26	0,45
90 min ⁻¹	137	51,6	29,7	59,6	29,4	136	51,2	30,8	61,5	27,2	0,45
95 min ⁻¹	133	61,5	31,3	70,7	29,3	135	62,5	32,5	74,6	27,7	0,13
100 min ⁻¹	132	72,4	31,4	82,9	30	133	74,5	32,6	86,8	27,6	0,31
105 min ⁻¹	120	80,7	32	91,7	28,1	127	85,4	32,4	96,7	27,1	0,53
110 min ⁻¹	111	90,2	32,1	101,6	28	117	95,6	31,8	106,2	27,8	0,45
115 min ⁻¹	99	101,2	32,9	108,8	27,8	107	103,5	34,3	115	28,9	0,11
120 min ⁻¹	90	110,5	35,5	118,9	29	91	108,6	35,1	120,6	28,6	0,21
p-Wert**	p<0,001 bei allen Herzfrequenzen					p<0,001 bei allen Herzfrequenzen					

Bei allen betrachteten Herzfrequenzen zwischen 85 und 120 S/min wurde sowohl in der herzfrequenz- als auch in der laktatbasierten Gruppe eine hoch signifikante Leistungsverbesserung durch die Rehabilitation beobachtet. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

Abbildung 17 zeigt die durch die Rehabilitation erzielte Veränderung der mittleren Leistung bei den definierten Herzfrequenzwerten von 90, 100, 110 sowie 120 S/min, differenziert nach Trainingsgruppen.

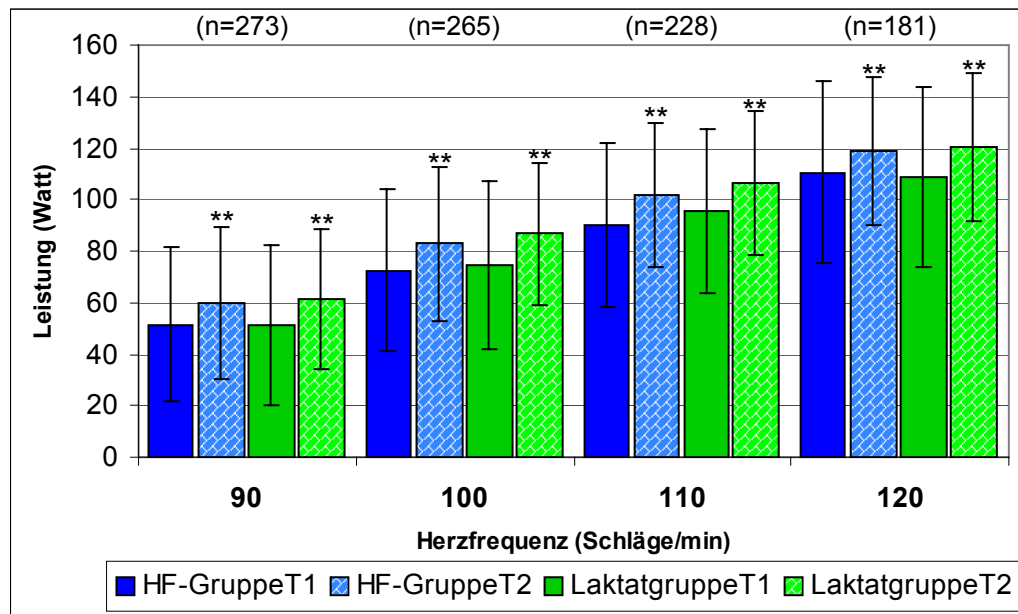


Abb. 17: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten, differenziert nach Trainingsgruppen (** hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung; T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung).

3.3. Körperliche Belastbarkeit

Tabelle 19 zeigt die durch die Rehabilitation erzielte Veränderung der körperlichen Belastbarkeit bezogen auf die maximale und max. relativ erreichte Ergometerleistung (in Watt bzw. Watt pro kg/Körpergewicht), die maximale und max. relative Sauerstoffaufnahme (in ml/min bzw. ml/min pro kg/Körpergewicht) und die Leistung (in Watt) an der ventilatorischen anaeroben Schwelle.

Tab. 19: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der körperlichen Belastbarkeit gemessen an der maximal (Watt) und relativ (Watt/kg/Körpergewicht) erreichten Ergometerleistung, der maximalen (ml/min) und relativen (ml/min/kg Körpergewicht) Sauerstoffaufnahme sowie der Leistung (Watt) an der respiratorisch ermittelten anaeroben Schwelle, differenziert nach Trainingsgruppen (p-Wert* = Vergleich der erzielten Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen). p-Wert**= Veränderung innerhalb der jeweiligen Gruppe). p-Wert* T1-T2-Differenz zwischen den Gruppen (berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Wilcoxon-Rangsummen-Tests für unabhängige Stichproben) p-Wert** T1-T2-Differenz innerhalb den Gruppen (berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Signed-Rank Tests für abhängige Stichproben).

KG=Körpergewicht; VO_{2peak} =maximale Sauerstoffaufnahme; VO_{2AT} =Sauerstoffaufnahme bei anaerober Schwelle; T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung.

Körperliche Belastbarkeit	Herzfrequenzgruppe (n=138)				Laktatgruppe (n=137)				p-Wert*
	T1		T2		T1		T2		
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Max. erreichte Leistung (Watt)	134,8	30,1	139,9	33,3	134,5	32,2	142	34,3	0,17
p-Wert**	p<0,001				p<0,001				
Max. relative erreichte Leistung Watt/kg KG	1,6	,3	1,6	,6	1,6	,4	1,7	,4	0,69
p-Wert**	p<0,001				p<0,001				
VO _{2peak} (ml/min)	1957,6	426,9	1993,9	451,4	1968,9	452,7	2037,2	469,8	0,17
p-Wert**	p=0,102				p=0,001				
VO _{2peak} (ml/min/kg KG)	22,6	4,4	23	4,4	23	5,1	23,8	5,5	0,22
p-Wert**	p=0,057				p=0,001				
Watt bei VO ₂ AT	78,49	46,3	79,57	45,4	84,8	48,7	82,3	51,1	0,82
p-Wert**	p=0,462				p=0,862				

Durch die Rehabilitation konnten sowohl die maximal erreichte und die maximale relative Ergometerleistung in beiden Gruppen hoch signifikant verbessert werden (p<0,001). Ein Unterschied zwischen den Gruppen zeigte sich nicht (p=0,17 bzw. p=0,69). In der Herzfrequenzgruppe nahm die maximal erreichte Ergometerleistung um 3,8% und in der Laktatgruppe um 5,6% durch die Rehabilitation zu.

Die maximale Sauerstoffaufnahme VO_{2peak} wurde im Trainingszeitraum lediglich in der laktatbasierten Gruppe hoch signifikant (p<0,001) um 3,5% gesteigert. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war nicht signifikant. Die max. relative Sauerstoffaufnahme konnte in der laktatbasierten Gruppe ebenfalls hoch signifikant (p=0,001) erhöht werden, in der Herzfrequenzgruppe wurde keine Verbesserung festgestellt. Der Unterschied zwischen den Gruppen war jedoch nicht signifikant (p=0,22).

Abbildung 18 zeigt die durch die Trainingsintervention erzielten Veränderungen der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung, differenziert nach Trainingsgruppen.

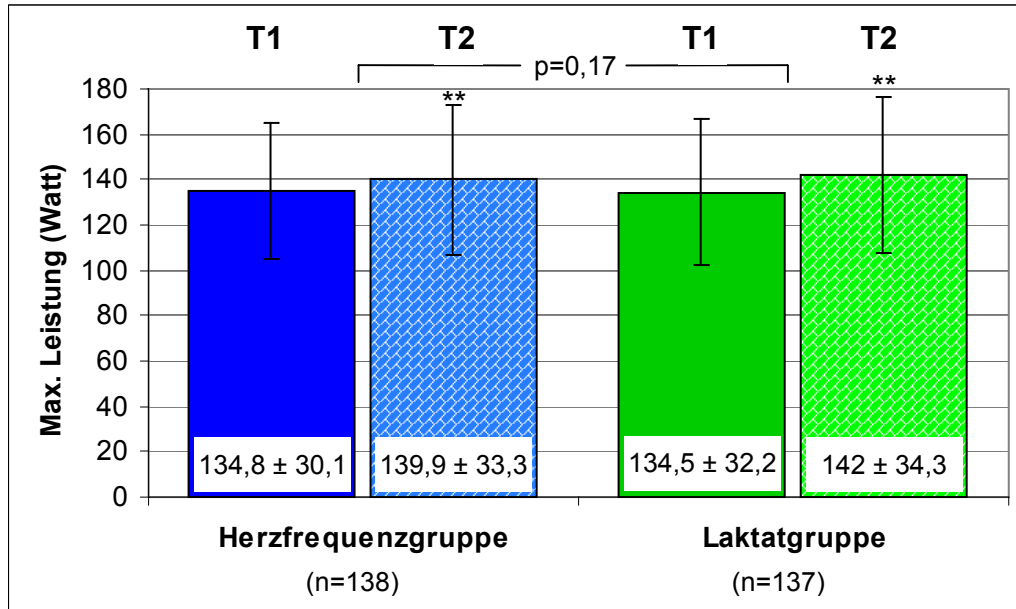


Abb. 18: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung in Watt, differenziert nach Trainingsgruppen (**hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung; T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung).

Abbildung 19 zeigt die durch die Trainingsintervention erzielten Veränderungen der mittleren maximalen Sauerstoffaufnahme, differenziert nach Trainingsgruppen.

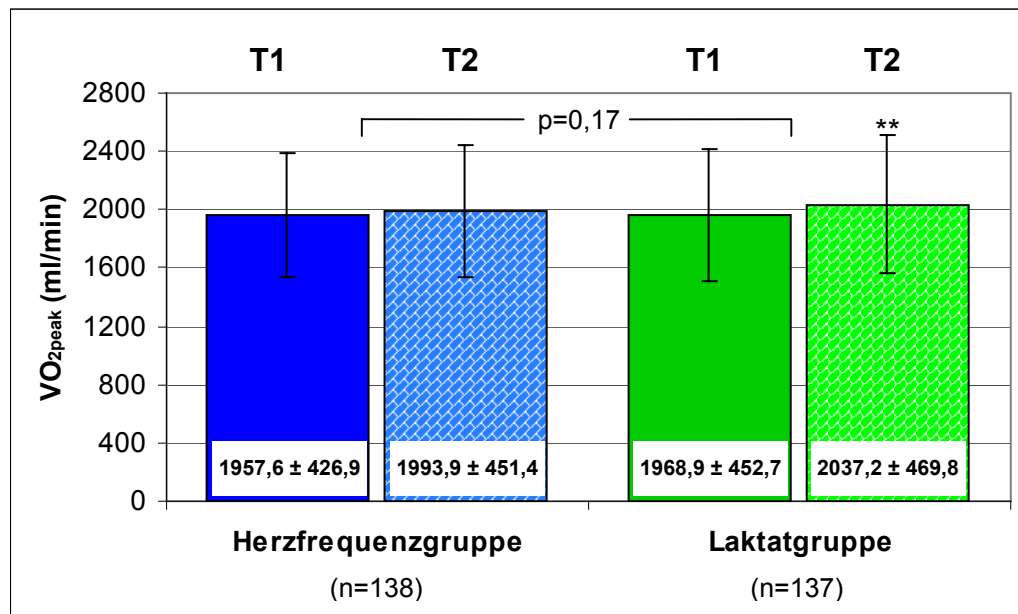


Abb. 19: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}), differenziert nach Trainingsgruppen (** hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung; T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung).

3.4. Veränderungen einzelner Parameter je Belastungsstufe der Belastungs-EKGs zwischen Eingangs- und Ausgangsuntersuchung

Bei der folgenden Ergebnisbetrachtung der Parameter Laktat, Herzfrequenz, Blutdruck und Borg-Skala werden die Veränderungen zwischen der Eingangs- und der Ausgangsuntersuchung der Belastungs-EKGs jeweils pro Belastungsstufe miteinander verglichen. Da der Fokus auf einem etwaigen Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen lag, werden die Ergebnisse der definierten Belastungsstufen von 25 bis 100 Watt dargestellt. Bei den höheren Belastungsstufen nahm die Anzahl der verfügbaren Daten in den Gruppen jeweils stark ab.

3.4.1. Laktat

In Tabelle 20 und Abbildung 20 sind die durch die Rehabilitation erzielten Veränderungen der mittleren erreichten Laktatwerte auf jeder Belastungsstufe der Belastungsuntersuchung bis 100 Watt differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

Tab. 20: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Laktatwerte bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen (berechnet mit Hilfe einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA); (Belastungsstufe, Messzeitpunkt, Gruppe)). (p-Wert* = Vergleich der erzielten Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen. p-Wert**= Vergleich der Veränderung innerhalb der Gruppen); T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung.

Laktat (mmol/l)	Herzfrequenzgruppe					Laktatgruppe					p-Wert*
		T1		T2			T1		T2		
	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Ruhe	138	1,5	,4	1,6	,4	137	1,4	,4	1,5	,5	n.s.
p-Wert**		p=0,004					p=0,004				
25 Watt	138	1,4	,4	1,4	,4	137	1,3	,3	1,4	,4	
p-Wert**		p=0,437					p=0,437				
50 Watt	138	1,7	,5	1,6	,4	137	1,7	,4	1,6	,4	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
75 Watt	138	2,4	,8	2,2	,7	137	2,4	,6	2,3	,7	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
100 Watt	133	3,4	1,1	3,1	1	131	3,4	,9	3,2	1,0	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				

Durch die Rehabilitation wurde eine hoch signifikante Reduktion der Laktatwerte in Ruhe und bei 50, 75 und 100 Watt in beiden Trainingsgruppen festgestellt. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

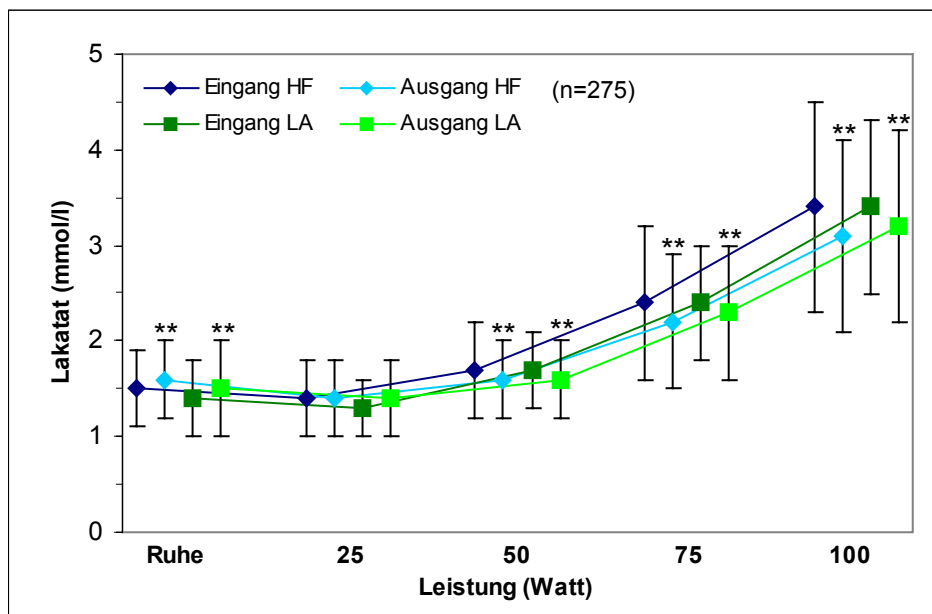


Abb. 20: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Laktatwerte bei den einzelnen Stufen der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen (HF= herzfrequenzbasiert, L= laktatbasiert) und Untersuchungszeitpunkte (Eingang= Eingangsuntersuchung, Ausgang= Ausgangsuntersuchung). ** hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung.

3.4.2. Herzfrequenz

In Tabelle 21 und Abbildung 21 sind die durch die Rehabilitation erzielten Veränderungen der mittleren erreichten Herzfrequenz auf jeder Belastungsstufe der Belastungsuntersuchung bis 100 Watt differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

Tab. 21: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Herzfrequenz bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Untersuchungsgruppen (berechnet mit Hilfe einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA), (Belastungsstufe, Messzeitpunkt, Gruppe)). (p-Wert* = Vergleich der erzielten Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen. p-Wert**= Vergleich der Veränderung innerhalb der Gruppen); T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung.

Herzfrequenz (Schläge/min)	Herzfrequenzgruppe					Laktatgruppe					p-Wert*
		T1		T2			T1		T2		
	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Ruhe	138	70,2	12,4	68,2	10,4	137	70,9	12,6	67,8	10,6	n.s.
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
25 Watt	138	82,1	11,9	79,3	9,4	137	82,4	12,2	78,9	11,1	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
50 Watt	138	90,9	13	87,2	12,1	137	90,1	12,5	86,1	10,3	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
75 Watt	138	101,2	15,1	97,1	12,5	137	100,2	14,5	96	12,4	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
100 Watt	133	112,3	16,1	107,6	14,4	131	110,6	15,4	106,6	14,4	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				

In Ruhe und auf allen beobachteten Belastungsstufen von 25 bis 100 Watt wurde in beiden Gruppen eine hoch signifikante Senkung der Herzfrequenz festgestellt (p<0,001). Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

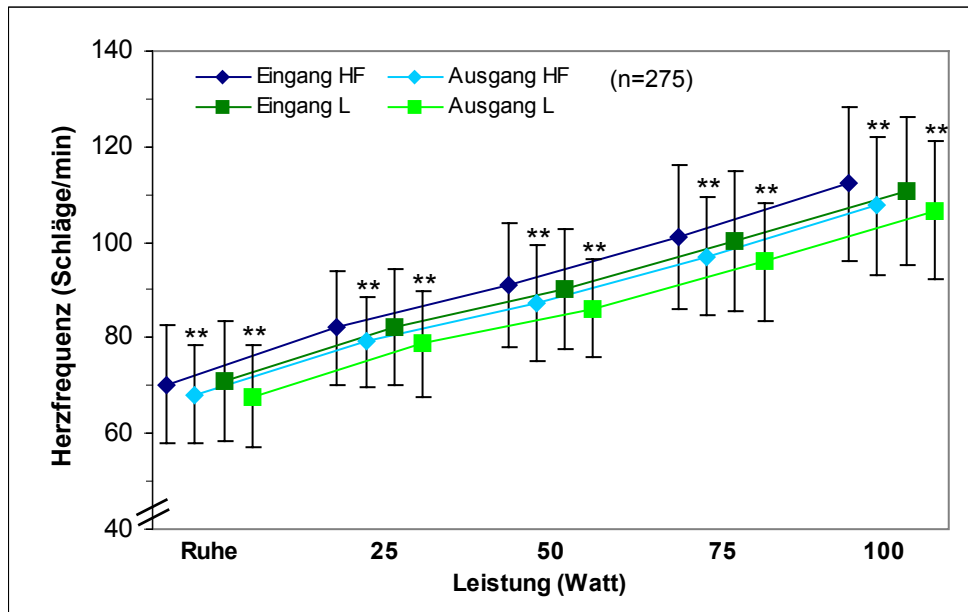


Abb. 21: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Herzfrequenz bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen (HF= herzfrequenzbasiert, L= laktatbasiert) und Untersuchungszeitpunkte (Eingang= Eingangsuntersuchung, Ausgang= Ausgangsuntersuchung). **hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung.

3.4.3. Blutdruck

3.4.3.1 Systolischer Blutdruck

Ein möglicher Trainingseffekt könnte sich auch in einer Reduktion des systolischen Blutdrucks widerspiegeln. In Tabelle 22 und Abbildung 22 sind die durch die Rehabilitation erzielten Veränderungen der mittleren systolischen Blutdruckwerte in Ruhe und auf jeder Belastungsstufe der Belastungsuntersuchung bis 100 Watt differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

Tab. 22: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen des mittleren systolischen Blutdrucks bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen (berechnet mit Hilfe einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA), (Belastungsstufe, Messzeitpunkt, Gruppe)). (p-Wert* = Vergleich der erzielten Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen. p-Wert**= Vergleich der Veränderung innerhalb der Gruppen); T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung.

Systolischer Blutdruck (mmHg)	Herzfrequenzgruppe					Laktatgruppe					p-Wert*
		T1		T2			T1		T2		
	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Ruhe	131	116,9	19,1	109,5	16,5	132	115,5	15,2	108,6	14,4	n.s.
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
25 Watt	137	125	23,1	113,8	16,8	136	123	19	114,4	18	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
50 Watt	137	132	21,5	123,3	20,5	137	131,2	20,9	122	21	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
75 Watt	138	145,9	24,8	135,2	23	136	142,9	25,5	136,1	23,5	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
100 Watt	133	161,1	29,9	151,1	23,9	131	159,8	27,4	155,1	26,9	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				

In Ruhe und auf allen beobachteten Belastungsstufen von 25 bis 100 Watt wurde in beiden Gruppen eine hoch signifikante Senkung des systolischen Blutdrucks festgestellt. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

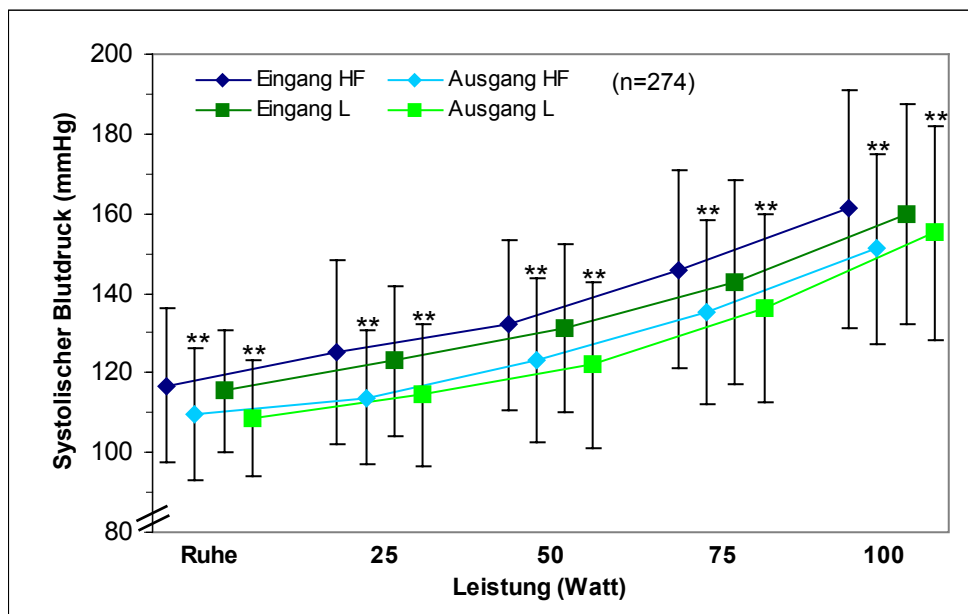


Abb. 22: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren systolischen Blutdruckwerte bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen (HF= herzfrequenzbasiert, L= laktatbasiert) und Untersuchungszeitpunkte (Eingang= Eingangsuntersuchung, Ausgang= Ausgangsuntersuchung). **hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung.

3.4.3.2 Diastolischer Blutdruck

In Tabelle 23 und Abbildung 23 sind die durch die Rehabilitation erzielten Veränderungen der mittleren diastolischen Blutdruckwerte in Ruhe und auf jeder Belastungsstufe der Belastungsuntersuchung bis 100 Watt differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

Tab. 23: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen des mittleren diastolischen Blutdrucks bei der Belastungsuntersuchung (berechnet mit Hilfe einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA), (Belastungsstufe, Messzeitpunkt, Gruppe)). (p-Wert* = Vergleich der erzielten Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen. p-Wert**= Vergleich der Veränderung innerhalb der Gruppen); T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung.

Suchang:

Diastolischer Blutdruck (mmHg)	Herzfrequenzgruppe					Laktatgruppe					p-Wert*
		T1		T2			T1		T2		
	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Ruhe	131	77,6	11,9	72,1	10,2	132	76,1	10,6	73,4	8,6	n.s.
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
25 Watt	137	75,5	11	70,8	9,8	136	74,3	11,3	71	9,6	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
50 Watt	137	76,1	12	70,3	10	137	74,2	12,1	70,2	10,4	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
75 Watt	138	77,5	13,2	73,2	11,7	136	76,9	11,3	73,8	12,1	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
100 Watt	133	80,3	14	76,9	12,1	131	82,2	17	78,6	12,9	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				

In Ruhe und auf allen beobachteten Belastungsstufen von 25 bis 100 Watt wurde in beiden Gruppen eine hoch signifikante Senkung des diastolischen Blutdrucks festgestellt. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

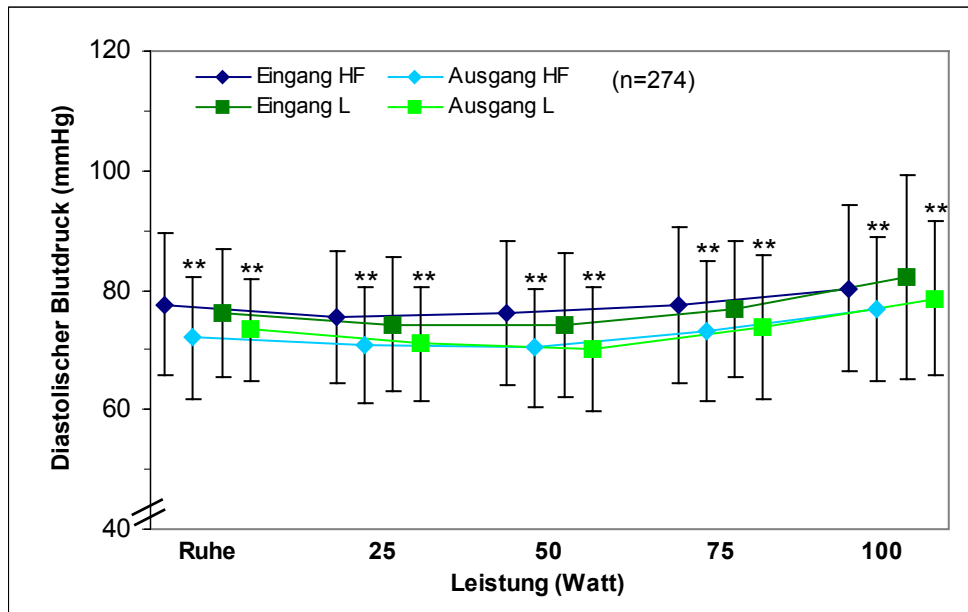


Abb. 23: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren diastolischen Blutdruckwerte bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen (HF= herzfrequenzbasiert, L= laktatbasiert) und Untersuchungszeitpunkte (Eingang= Eingangsuntersuchung, Ausgang= Ausgangsuntersuchung). **hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung.

3.4.4. Borg-Skala

Die Studienteilnehmer wurden bei jeder Belastungsstufe der Belastungsuntersuchung nach der Einschätzung ihres subjektiven Belastungsempfindens gefragt. In Tabelle 24 und Abbildung 24 sind die durch die Rehabilitation erzielten Veränderungen der mittleren angegebenen Borg-Skala-Werte auf jeder Belastungsstufe der Belastungsuntersuchung bis 100 Watt differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

Tab. 24: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren angegebenen Borg-Skala-Werte bei der Belastungsuntersuchung (berechnet mit Hilfe einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA), (Belastungsstufe, Messzeitpunkt, Gruppe)). (p-Wert* = Vergleich der erzielten Veränderungen zwischen den Trainingsgruppen. p-Wert**= Vergleich der Veränderung innerhalb der Gruppen); T1= Eingangsuntersuchung, T2= Ausgangsuntersuchung.

Borg-Skala	Herzfrequenzgruppe					Laktatgruppe					p-Wert*
		T1		T2			T1		T2		
	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
25 Watt	138	8,4	1,7	7,4	1,6	137	8,3	1,8	7,4	1,6	n.s.
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
50 Watt	138	10,8	1,9	9,1	2,2	137	10,7	2,1	9,3	2,2	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
75 Watt	138	12,9	2	11,4	2,4	137	12,9	2,2	11,7	2,4	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				
100 Watt	133	14,8	2,2	13,6	2,3	131	14,7	2,2	14	2,5	
p-Wert**		p<0,001					p<0,001				

Beide Trainingsgruppen schätzten ihr subjektives Belastungsempfinden in der Ausgangsuntersuchung auf den Belastungsstufen 25-100 Watt hoch signifikant niedriger als in der Eingangsuntersuchung ein ($p<0,001$). Die Veränderung war in beiden Gruppen vergleichbar, ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigte sich nicht.

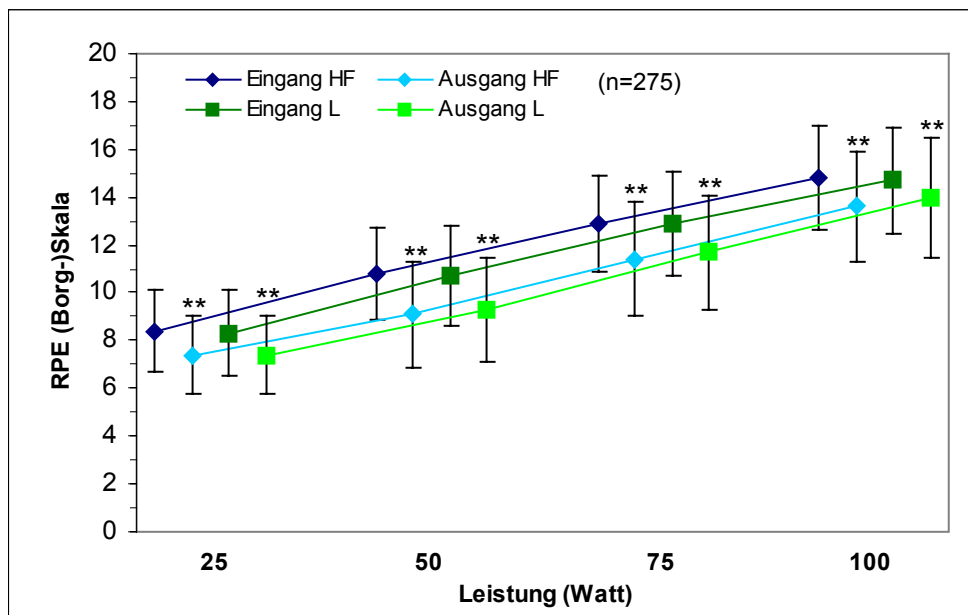


Abb. 24: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Borg-Skala-Werte (RPE-Skala) bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen (HF=herzfrequenzbasiert, L=laktatbasiert) und Untersuchungszeitpunkte (Eingang=Eingangsuntersuchung, Ausgang=Ausgangsuntersuchung). ** hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung.

4. Diskussion

4.1. Methodendiskussion

4.1.1. Untersuchungsdesign

Das in der vorliegenden Studie gewählte Studiendesign einer randomisierten kontrollierten Studie¹¹ gilt als der Goldstandard der evidenzbasierten Medizin (Williams 2010, Stel et al. 2007, Glasser & Howard 2006). Randomisiert kontrollierte Studien werden als am Besten geeignet angesehen, einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Behandlungsintervention und Erfolg zu ermitteln und sollten daher auch in der Rehabilitation Verwendung finden (Komaroff & DeLisa 2009, Mittlböck 2008, Wade 2005).

Nach Glasser und Howard (2006) sollten bei der Durchführung bzw. Betrachtung randomisierter kontrollierter Studien wenigstens zehn Aspekte sorgfältig bewertet werden: *„Ethical issues (protection of human subjects), Implication of eligibility criteria (sampling), Degree of masking, Randomization, Intention to treat analysis (the analytic method uses), Selection of interventional and comparison groups, Selection of end points, Interpretation of results, Trial duration, Selection of traditional versus equivalence testing“* (S. 1106f).

Ethische Aspekte

Da die Herzfrequenzgruppe als „Kontrollgruppe“ eine Standardtherapie erhielt, können ethische Bedenken wie bspw. bei einer Placebo-Kontrollgruppe, der lebensrettende oder lebensverlängernde Therapien vorenthalten werden, verworfen werden. Dies bestätigt sich auch im positiven Votum der Ethikkommission (vgl. 2.1.).

Konsequenzen der Auswahlkriterien

Die Wahl der DRV-Klinik Roderbirken als Untersuchungssetting resultierte in einem hohen Anteil (77%) erwerbstätiger und mit einem Durchschnittsalter von 49,7 Jahren vergleichsweise junger Rehabilitationspatienten. Das Durchschnittsalter aller stationären, kardiologischen Rehabilitationspatienten liegt in DRV-Kliniken bei 51,9 Jahren (DRV 2009). Im Gegensatz zur

¹¹ Randomized controlled trial=RCT.

Rentenversicherung liegen keine Daten der gesetzlichen Krankenversicherung als Hauptkostenträger der Anschlussrehabilitation für Ältere vor. Held und Ritter (2003) stellten bei einer Untersuchung im Jahr 2003 fest, dass etwa die Hälfte der Patienten in einer stationären Rehabilitationseinrichtung in Deutschland über 60 Jahre alt ist.

Schlecht belastbare Patienten wurden u.a. bei Nichterreichen einer stoffwechselbezogenen Mindestbelastung von 3mmol/l im Stufentest oder einer linksventrikulären Ejektionsfraktion kleiner 50% ausgeschlossen. Die Studienergebnisse müssen somit vor dem Hintergrund junger und gut belastbarer Patienten ohne akutes Ereignis (<10 Tage vor der Reha) interpretiert werden.

Einen Einfluss auf das Ausgangsniveau und die Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit könnte die Zeitspanne zwischen kardialen Ereignis (88% erlitten bspw. einen Myokardinfarkt) und Rehabilitationsbeginn nehmen. Hierbei zeigt sich die Stichprobe heterogen, da 28% der Studienteilnehmer die Rehabilitation im Rahmen einer Heilbehandlung durchführten. Insgesamt 72% nahmen hingegen die Rehabilitation kurz nach der Krankenhausentlassung als Anschlussrehabilitation auf. Dies lässt auf ein überwiegend dekonditioniertes Patientenkontingent schließen, bei dem größere Verbesserungen durch die Rehabilitation zu erwarten sind (Leon et al. 2005).

Verblindung

Die individualisierte Trainingsintervention des Ergometertrainings mit erkennbarer Variation der Trainingsdauer zur Vereinheitlichung des Kalorienumsatzes verhinderte sowohl ein einfach- als auch ein doppelblind-Studiendesign. Somit ist weder eine positive noch eine negative Beeinflussung der Ergebnisse durch persönliche Verhaltensweisen seitens der Studienteilnehmer bzw. -untersucher auszuschließen. Die computergesteuerte Trainingsintervention sowie die weitgehend vom Untersucher unabhängigen Messverfahren minimieren jedoch die Gefahr eines Bias.

Randomisierung

Elf Patienten konnten nach der Randomisierung aufgrund der unter 2.1.1. aufgeführten Ein- bzw. Ausschlusskriterien nicht in die Studie aufgenommen

werden. Es zeigte sich, dass die Untersuchungsabläufe bspw. hinsichtlich dem rechtzeitigen Vorhandensein notwendiger Parameter (z.B. Laborwerte) nicht optimal gestaltet waren. Dennoch weisen die beiden Trainingsgruppen hinsichtlich ihrer anthropometrischen Daten eine homogene Verteilung auf.

Intention-to-treat¹² Analyse

Das Studiendesign der OpErgo-Studie beruht auf einem Vorher-Nachher-Vergleich verschiedener Parameter, für den die Durchführung der Eingangs- und der Ausgangsuntersuchung unabdingbar ist. Aufgrund des Fehlens der jeweiligen Ausgangsuntersuchung konnten die Daten der zehn Drop-Outs nicht in die Analyse integriert werden. Ausgewertet wurden somit im Sinne einer Per-Protocol-Analyse die Daten der Patienten, die die im Studienplan vorgesehene Intervention erhielten. Das ITT-Prinzip fand Berücksichtigung, indem beide Trainingsgruppen ohne weitere Vorgaben am sonstigen Bewegungsprogramm der Klinik teilnehmen und zusätzliche körperliche Aktivitäten während des Rehabilitationsaufenthaltes durchführen konnten.

Abgrenzung von Interventions- und Kontrollgruppe

Gemäß dem Hawthorne-Effekt steigt das Gesundheitsbewusstsein bereits allein durch die Teilnahme an einer Studie (Glasser & Howard 2006). Es ist nicht auszuschließen, dass durch die Studienteilnahme die Motivation der Patienten zur selbständigen körperlichen Aktivität stieg und damit Einfluss auf die Entwicklung der körperlichen Leistungsfähigkeit genommen wurde. Interessant wäre ein zusätzlicher Vergleich der vorliegenden Interventionseffekte mit einer dritten Gruppe als Kontrollgruppe ohne Intervention gewesen, um die Ergebnisse von bspw. Spontanheilungseffekten abzugrenzen. Ein derartiges RCT-Studiendesign stieße allerdings an rechtliche und ethische Grenzen.

Auswahl der Endpunkte

Aufgrund der Interventionsdauer von drei Wochen konnten keine harten Endpunkte wie „Vermeidung eines Re-Infarktes“ oder „Tod“ formuliert werden. Der Fokus der Untersuchung lag vielmehr auf einer isolierten Betrachtung der Auswirkungen zweier unterschiedlicher Trainingssteuerungsmethoden des Ergometertrainings als ein Bestandteil der interdisziplinären Behandlung in der kardiologischen Rehabilitation. Deren positiven Effekte auf die

¹² Intention to treat=ITT.

Sterblichkeit, körperliche Leistungsfähigkeit und die Lebensqualität konnten bereits vielfach nachgewiesen werden (Heran et al. 2011, Williams et al. 2006, Clark et al. 2005, Taylor et al. 2004, Myers et al. 2002, Fletcher et al. 2001).

Interpretation der Ergebnisse

Nach Glasser und Howard (2006, S. 1112) ist eine unterschiedliche Interpretation der Ergebnisse nicht auszuschließen: „*Interesting to consider and important to reemphasize is why intelligent people can look at the same data and render differing interpretations*“. Im gesamten Abschnitt 4.1. sind die nach Ansicht des Verfassers bei der Interpretation der vorliegenden Ergebnisse zu berücksichtigenden Aspekte aufgeführt.

Untersuchungsdauer

Bei der Interpretation jeglicher Studienergebnisse sollte nach Glasser und Howard (2006, S.1112) die Frage gestellt werden: „*What would have happened had a longer follow-up period been chosen?*“ Plüss et al. (2011) untersuchten die Langzeiteffekte einer interdisziplinären, ausgeweiteten kardiologischen Rehabilitation mit intensiviertem körperlichen Training im Vergleich zu einer Standardrehabilitation. Zusätzlich zur Standardrehabilitation mit körperlichem Training (2x wöchentlich à 45 min über einen Zeitraum von 3 Monaten mit individuell festgelegter leichter, moderater oder intensiver Intensität), einer Beratung für Patienten und Ehegatten, Informationsvorträgen und Raucherentwöhnung erhielten die Patienten der Interventionsgruppe darüber hinaus ein Stressmanagementprogramm über ein Jahr, Ernährungsberatung und Kochkurse sowie einen fünftägigen Aufenthalt im „Patienten-Hotel“ mit vielerlei Informationen und zwei Mal täglichen, körperlichen Aktivitäten. In den ersten fünf Jahren Beobachtungszeit nach Abschluss der Rehabilitation erlitten signifikant ($p=0,047$) weniger Teilnehmer der Interventionsgruppe (11%) einen Myokardinfarkt als Patienten der Kontrollgruppe mit der Standardrehabilitation (20%). Die Krankenhaustage aufgrund kardiovaskulärer Ursachen fielen in der Interventionsgruppe ebenfalls signifikant geringer aus (Median 6 Tage vs. 10 Tage, $p=0,02$)¹³.

¹³ Daten zu Trainingseffekten liegen vom 5-Jahres-Follow-up nicht vor.

Das vorliegende Studiendesign beinhaltet keine Follow-up-Untersuchung, sodass über Langzeiteffekte bzw. -unterschiede zwischen den beiden Trainingsgruppen keine Aussage getroffen werden kann.

Hypothesenüberprüfung

Im Rahmen der Hypothesenformulierung wurde keine klassische Hypothesenüberprüfung gewählt. Die Nullhypothese selbst wurde nicht aufgestellt. Mit der ersten Hypothese wird unterstellt, dass sich durch die beiden Verfahren unterschiedliche Trainingsintensitäten ergeben (entspricht H1). Weitere Alternativhypothesen unterstellen bessere Ergebnisse des laktatbasierten Berechnungsverfahrens gegenüber dem herzfrequenzbasierten Verfahren.

4.1.2. Patientengruppe

Gemäß der eingangs durchgeführten Powerberechnung sollten 130 Patienten pro Studienarm eingeschlossen werden. 65 (19%) der über die Studie aufgeklärten Patienten konnten nicht in die Trainingsintervention eingeschlossen werden, zusätzlich kam es über die gesamte Studiendauer hinweg zu zehn Drop-Outs. Insgesamt beendeten 275 (79%) Patienten die Intervention planmäßig. In beiden Trainingsgruppen wurde die geplante Mindestanzahl von 130 Teilnehmern erreicht. Die konservativ geschätzte Drop-Out-Rate von 20-30% wurde am unteren Ende eingehalten.

Die Randomisierung führte mit 143 Patienten in der herzfrequenzbasierten respektive 142 in der laktatbasierten Trainingsgruppe sowie einem Frauenanteil von je 12% zu einer nahezu identischen Verteilung¹⁴. Auch hinsichtlich der anthropometrischen Daten, der kardiovaskulären Diagnosen, der echokardographischen Untersuchung und der Medikation ergab die Randomisierung zwei homogene Patientengruppen. Auf eine geschlechtsspezifische Auswertung wurde aufgrund des geringen Frauenanteils verzichtet.

Die Behandlung mit Betarezeptorenblockern gehört zur Standardtherapie bei koronarer Herzkrankheit und verbessert nachweislich die Prognose der Patienten (Van de Werf et al. 2008, Cucherat et al. 2007, Gibbons et al.

¹⁴ Im späteren Verlauf fünf Drop-Outs je Trainingsgruppe.

2003). Es muss folglich davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der Patienten in der kardiologischen Rehabilitation mit Betarezeptorenblockern behandelt wird.

Durch die Behandlung mit Betarezeptorenblockern wird die Herzfrequenz in Ruhe und unter Belastung gesenkt (Wonisch 2001). Dies muss bei der Trainingssteuerung mit berücksichtigt werden. In der hier untersuchten Patientengruppe wurden 96% der Patienten mit Betarezeptorenblockern - vorwiegend Metoprolol oder Bisoprolol - behandelt, wobei die Verteilung in beiden Trainingsgruppen vergleichbar war (vgl. Tabelle 6).

Froelicher et al. (1985) verglichen nach einjähriger Intervention mit 118 KHK-Patienten die Verbesserungen der körperlichen Leistungsfähigkeit zwischen einer Trainingsgruppe mit gezielter körperlicher Aktivität (bei 60%-85% der VO_{2peak}) und einer Kontrollgruppe mit einem moderaten Walking-Programm. In beiden Gruppen nahmen sowohl Patienten mit als auch ohne Betablockermedikation teil, die getrennt voneinander betrachtet wurden. In der Trainingsgruppe zeigten sich hoch signifikante Verbesserungen der körperlichen Leistungsfähigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe. Ein Unterschied zwischen den Patienten mit bzw. ohne Betarezeptorenblockertherapie zeigte sich nicht. Daher kann angenommen werden, dass die Verabreichung von Betarezeptorenblockern keinen Einfluss auf die erzielten Trainingseffekte genommen hat.

4.1.3. Durchführung der Spiroergometrie

Die Spiroergometrie ist ein etabliertes Verfahren bei der Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Erfolge einer Trainingstherapie bei Herzpatienten (Carvalho & Mezzani 2011, Franco 2011, Guazzi et al. 2009, Albouaini et al. 2007, Milani et al. 2006, Arena et al. 2004). Durch die Einbeziehung des pulmonalen, kardiovaskulären und muskuloskelettalen Systems ermöglicht sie eine objektive Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit und findet daher eine breite Verwendung im klinischen Einsatzbereich (Albouaini et al. 2007). Bei KHK-Patienten könnte ein Belastungstest mit Atemgasmessung helfen, die Belastungsintensität für die kardiologische Rehabilitation zu präzisieren (Mezzani et al. 2009, Tabet et al. 2006, Dickhuth et al. 1999). Vor Beginn der Bewegungstherapie wird die

Durchführung eines Belastungstests auf dem Laufband oder dem Fahrradergometer empfohlen (Piepoli et al. 2010, Bjarnason-Wehrens et al. 2009, Bjarnason-Wehrens et al. 2007, Graham et al. 2007, Fletcher et al. 2001).

In der vorliegenden Studie erfolgte die Belastungsuntersuchung als Spiroergometrie in sitzender Position auf dem Fahrradergometer. Durch den größeren Muskeleinsatz während einer Laufbandergometrie wird eine um ca. 10% höhere VO_2 als bei der Spiroergometrie erzielt (Breuer 2004). Dies muss beim Vergleich der vorliegenden Daten mit vorwiegend auf dem Laufband durchgeführten Untersuchungen aus dem anglo-amerikanischen Raum berücksichtigt werden.

Zur optimalen Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit eines Patienten ist eine Belastungsdauer zwischen 8 und 12 Minuten im Belastungstest mit einer erschöpfungs- oder symptomlimitierten Belastung anzustreben (Milani et al. 2006, Breuer 2004). Kürzere Belastungsphasen erzielen keine kardiorespiratorische Ausbelastung, längere Belastungsphasen könnten zum Abbruch aufgrund muskulärer Erschöpfung oder orthopädischer Probleme führen und liefern keinen zusätzlichen Informationsgewinn (Wonisch et al. 2008, Myers & Froelicher 1993). Die durchschnittliche mittlere maximal erreichte Ergometerleistung im Eingangstest dieser Studie lag bei 135 Watt. Dies entspricht einer Ergometriedauer von 10-12 Minuten mit 5-6 Belastungsstufen à 2 Minuten. Das WHO-Belastungsprotokoll scheint somit auch für die Belastungsuntersuchung junger, gut belastbarer KHK-Patienten geeignet zu sein.

4.1.4. Durchführung der Laktatmessung

Die Messung der Laktatkonzentration im arteriellen Blut zur Bestimmung der metabolischen Beanspruchung des Organismus während körperlicher Belastung hat in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung eine lange Tradition (Hollmann 2001). Eine wesentliche Aufgabe der Leistungsdiagnostik ist es, kritisch hohe Trainingsbelastungen im Sinne einer Überlastung auszuschließen. Bei gleichbleibend intensiven Dauerbelastungen kann aufgrund eines zunehmenden Sympathikustonus ein arrhythmogenes Potential sowie ein stetiger Herzfrequenz- und Blutdruck-

anstieg mit entsprechend erhöhtem myokardialen Sauerstoffbedarf entstehen (Tegtbur et al. 2001). Blutchemisches Korrelat dieser Vorgänge ist ein stetig ansteigender Laktatspiegel, der bei Dauerbelastungen mit KHK-Patienten aufgrund des korrelierenden Plasmakatecholaminspiegels vermieden werden sollte (Heitkamp & Hipp 2001, Tegtbur et al. 2001, Coplan et al. 1986).

Die Bestimmung der Laktatkonzentration erfolgte nach der weit verbreiteten polarographischen Bestimmungsmethode (Faude & Meyer 2008, Röcker & Dickhuth 2001). *„Das Grundprinzip (...) ist hierbei die Bestimmung der Laktatkonzentration nach einer Reaktion zu Pyruvat und H_2O_2 , die durch das Enzym Laktatoxidase katalysiert wird“* (Röcker & Dickhuth 2001, S. 33).

Die Verwendung von end-to-end-Glaskapillaren reduzierte die Gefahr eines unkorrekten Probenvolumens. Die Probenstabilität wurde durch eine Doppelanalyse im direkten Anschluss an die Entnahme sichergestellt (Faude & Meyer 2008). Wie von Röcker und Dickhuth (2001) empfohlen, wurde die Abnahme von Kapillarblut aus dem Ohrläppchen vorgenommen. Obwohl das Ohrläppchen vor jeder Entnahme mit einem Tupfer abgetrocknet wurde, ist eine biologische Variabilität durch die Verunreinigung der Blutproben mit Schweiß nicht vollständig auszuschließen. Dies würde mit einer Erhöhung der gemessenen Laktatwerte einhergehen (Faude & Meyer 2008, Röcker & Dickhuth 2001). Der belastungsabhängige Umverteilungsprozess zwischen dem Extra- und Intrazellulärraum des Blutes wurde durch die Analyse hämolysierten Vollblutes gestoppt und ausgeglichen (Buono & Yeager 1986). Hinsichtlich der methodischen Sicherheit wird daher die Verwendung von hämolysiertem Vollblut, wie auch in der OpErgo-Studie angewandt, den anderen Probematerialien vorgezogen (Röcker & Dickhuth 2001).

Ein Einfluss des Probennehmers auf die Variabilität der Messungen kann in der vorliegenden Studie vernachlässigt werden. Über 90% der Messungen wurden vom gleichen Untersucher durchgeführt. Darüber hinaus bestimmten Davison et al. (2000) bei drei verschiedenen Untersuchern in über 20 Ruhemessungen lediglich Variationskoeffizienten zwischen 1,3% und 3%.

Eine Beeinflussung der Lage der Laktatleistungskurve durch das im Studienkollektiv am häufigsten verschriebene Medikament, dem Beta-rezeptorenblocker¹⁵, kann nach Kullmer et al. (1987) ausgeschlossen werden. Die in der vorliegenden Arbeit angewandte Messung der Leistung bei definierten Laktatwerten ist nach Weineck (2010) ein geeignetes Verfahren, um die Ausdauerleistungsfähigkeit im Längsschnittvergleich zu quantifizieren.

4.1.5. Durchführung der Trainingsintervention

Körperliches Training ist ein wesentlicher Bestandteil der kardiologischen Rehabilitation (Bjarnason-Wehrens & Halle 2011, ACSM 2010, Niederseer & Niebauer 2009, Bäck et al. 2008, Balady et al. 2007, Graham et al. 2007, Leon 2000). Gemäß der Deutschen Leitlinie zur Rehabilitation von Patienten mit Herz-Kreislauferkrankungen soll während der Phase II Rehabilitation ein überwachtes, individuell dosiertes und gestaltetes körperliches Training regelmäßig durchgeführt werden (Bjarnason-Wehrens et al. 2007). Die Basis dieses Trainings bildet ein aerobes Ausdauertraining nach der Dauermethode, welches im Rahmen der Anschlussrehabilitation üblicherweise als EKG-überwachtes Ergometertraining stattfindet (Bjarnason-Wehrens et al. 2007). Das in dieser Studie durchgeführte Ergometertraining wird im Folgenden detailliert diskutiert.

4.1.5.1 Trainingsdauer

Das Ergometertraining wurde gemäß Bjarnason-Wehrens (2007) in vier Phasen aufgebaut (vgl. 2.2.6.3). Getreu dem Prinzip der progressiven Belastungssteigerung wurde der Trainingsumfang schrittweise gesteigert (Weineck 2010, Schnabel et al. 2008, Bjarnason-Wehrens et al. 2007, De Backer et al. 2003). Durch die Verlängerung der Trainingsphase um 1 Minute je Einheit betrug die Gesamtdauer des Ergometertrainings im Mittel $21,5 \pm 1,5$ min, bei durchschnittlich $10,7 \pm 1,1$ absolvierten Trainingseinheiten.

¹⁵ Bei 96% der Patienten verabreicht, vgl. 2.1.2.4.

Die kalorienumsatzbasierte, individuell berechnete Trainingsdauer der herzfrequenzbasierten Gruppe sowie die entsprechende Verlängerung der Trainingsphase wurden aufgrund Praktikabilität auf volle Minuten auf- bzw. abgerundet. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass dadurch der Kalorienumsatz zwischen den beiden Trainingsgruppen leicht variierte.

Hansen et al. (2008) konnten aufzeigen, dass bei 3mal wöchentlichem Training¹⁶ die Effekte der Bewegungstherapie mit den Inhalten Laufband (42%), Ergometertraining (33%) und Armergometrie (25%) in beiden Trainingsgruppen mit 40 bzw. 60 Minuten Trainingsdauer gleich groß sind. Sie verwarfen die Hypothese, dass mit Trainingseinheiten von längerer Dauer größere Verbesserungen bei KHK-Patienten erzielt werden können. Für ältere, gesunde und bewegungsarme Menschen deuten die Ergebnisse von Metaanalysen darauf hin, dass bei konstanter Trainingsintensität und -frequenz der Zugewinn der körperlichen Leistungsfähigkeit ab 30 Minuten Trainingsdauer höher ist im Vergleich zu einer Trainingsdauer ≤ 30 Minuten (Huang et al. 2005, Lemura et al. 2000). In internationalen Empfehlungen wurde daher eine Trainingsdauer von mindestens 30 Minuten empfohlen. Diese empfohlene Trainingsdauer konnte in der vorliegenden Studie im Mittel nicht erreicht werden.

4.1.5.2 Trainingshäufigkeit

Nach § 40, Abs. 3, Satz 2, SGB V ist für die stationäre Rehabilitation eine Dauer von drei Wochen vorgesehen (BMJ 2011). Die Aufnahme der Patienten in der Klinik Roderbirken erfolgte montags bis freitags, die Entlassung exakt drei Wochen nach Aufnahme. Das Ergometertraining der OpErgo-Studie wurde in den normalen Klinikalltag und -ablauf der Klinik Roderbirken integriert und konnte werktags außer samstags durchgeführt werden. Da an den Tagen der Eingangs- bzw. Ausgangsuntersuchung kein Ergometertraining mit dem jeweiligen Patienten stattfand, standen insgesamt max. 13 Trainingstage zur Verfügung. Dieses Maximum konnte lediglich von 7 Patienten (3%) ausgeschöpft werden. Teilweise wurde das Training erst am zweiten Tag nach der Eingangsuntersuchung aufgenommen oder die

¹⁶ Intensität: 65% der Herzfrequenz von der im Belastungstest ermittelten VO_{2peak} .

Ausgangsuntersuchung wurde bereits am vorletzten Tag der Rehabilitation durchgeführt. Hinzu kamen Trainingsausfälle aufgrund mangelnder Compliance der Patienten, sodass das Ergometertraining im Mittel lediglich an $10,7 \pm 1,1$ Tagen absolviert wurde.

Die Trainingshäufigkeit war somit durch die Bindung an den in Deutschland üblichen Rehabilitationsstandard sowie den Klinikstandard limitiert. Eine Steigerung der Trainingshäufigkeit wäre bspw. durch ein zusätzliches Training an den Wochenenden oder ein mehrfaches Training pro Tag möglich gewesen. Selbst ein 6-maliges Training pro Tag mit einer Dauer von 10 Minuten je Einheit wird von KHK-Patienten gut toleriert (Hambrecht et al. 2004).

Mehrere Studien legen nahe, dass durch eine Steigerung der Trainingshäufigkeit der Trainingseffekt verbessert werden kann. Dressendorfer et al. (1995) verglichen die Trainingseffekte dreier Interventionsgruppen mit unterschiedlicher Trainingshäufigkeit (1-3 Mal pro Woche) miteinander. Die Trainingsgruppen mit zwei- bzw. dreimaligem Training pro Woche wiesen einen größeren Zugewinn der VO_{2peak} zur unbehandelten Kontrollgruppe auf als die Trainingsgruppe mit nur einmal wöchentlichem Training. Nieuwland et al. (2000) konnten einen Einfluss der Trainingshäufigkeit auf die Verbesserung der ventilatorisch gemessenen anaeroben Schwelle bei KHK-Patienten feststellen. Nach 6 Wochen Trainingsdauer wurde in der Gruppe, die fünfmal pro Woche, zweimal täglich mit einer Intensität von 60-70% der HFR trainierte, eine hoch signifikant größere Verbesserung der Leistung bei der anaeroben Schwelle erzielt als in der Kontrollgruppe, die mit gleicher Intensität, jedoch nur zwei Mal pro Woche trainierte (+35% vs. +12%, $p < 0,001$). Auch Tygesen et al. (2001) stellten in ihrer Studie mit KHK-Patienten eine hoch signifikant größere Verbesserung der maximalen Wattleistung in der Trainingsgruppe fest, die sechs Mal wöchentlich im Vergleich zu zwei Mal pro Woche über einen Zeitraum von drei Monaten trainierte (+29 vs. +7,2 Watt, $p < 0,001$).

Der Einfluss der Trainingshäufigkeit auf die Trainingseffekte wird auch in der Studie von Hevey et al. (2003) deutlich. Zwei Trainingsgruppen trainierten mit identischer Trainingsintensität (60-80% der maximalen Herzfrequenz des Belastungstests) und der gleichen Trainingsdauer je Einheit (50 Minuten).

Während eine Gruppe 5 Mal wöchentlich über einen Zeitraum von 4 Wochen trainierte, absolvierte die andere Gruppe 3 Trainingseinheiten pro Woche über 10 Wochen. Die Verbesserung des max. metabolischen Äquivalents war mit 31% in beiden Gruppen gleich groß. Die Ergebnisse von Hevey et al. (2003) zeigen, dass ein vergleichbarer Trainingseffekt in einer kürzeren Zeitspanne über eine größere Trainingshäufigkeit erreicht werden kann. Diese hat nach Berkhuisen et al. (1999) auch psychologische Vorteile. So wurde nach 6-wöchiger Intervention in der Trainingsgruppe, die zehn Mal wöchentlich im Vergleich zu zwei Mal wöchentlich trainierte, der psychologische Stress, gemessen anhand des General Health Questionnaire¹⁷, hoch signifikant mehr reduziert (71% vs. 38%, $p < 0,01$). Eine Trainingseinheit bestand aus 30 minütigem Ergometertraining bei 60-70% der Herzfrequenzreserve sowie 60 min Bewegungstherapie (z.B. Gymnastik, Schwimmen, Ballsport).

Darüber hinaus sollte erwähnt werden, dass die Trainingseffekte bei gleich bleibendem Trainingsumfang mit zunehmender Interventionsdauer weiter anzusteigen scheinen. In einer Studie von Brubaker et al. (1996) konnte das maximale metabolische Äquivalent nach 12 Monaten deutlich im Vergleich zum Zugewinn nach 3 Monaten verbessert werden (23% vs. 9%). Beide Gruppen trainierten 3 Mal wöchentlich für je 60 Minuten mit einer Intensität von 60-80% der Herzfrequenzreserve. Jensen et al. (1996) verglichen die Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme von 186 KHK-Patienten, die ein aerobes Ausdauertraining mit unterschiedlichen Trainingsintensitäten (85% vs. 50% VO_{2peak}), drei Mal wöchentlich für je 45 Minuten, über einen Zeitraum von 12 Monaten absolvierten. Unabhängig der Trainingsintensität wurde in beiden Gruppen die VO_{2peak} durch das Training hoch signifikant nach sechs Monaten gesteigert (+8% vs. +7%). Zwölf Monate nach Interventionsbeginn wurde in beiden Gruppen eine hoch signifikante Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme um 13% bzw. 9% im Vergleich zur Eingangsuntersuchung festgestellt. Der Unterschied zwischen den Gruppen war sowohl nach sechs ($p = 0,003$) als auch nach zwölf Monaten ($p < 0,001$) hoch signifikant.

¹⁷ Vgl. Goldberg (1978).

Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Fortführung der Bewegungstherapie im Anschluss an die im Vergleich zu amerikanischen Interventionen recht kurze kardiologische Rehabilitation der Phase II in Deutschland.

4.1.5.3 Festlegung der Trainingsintensitäten

Zur Festlegung der Trainingsintensität in der kardiologischen Rehabilitation existieren unterschiedliche Empfehlungen, die eine große Bandbreite hinsichtlich der Belastungsintensität aufweisen. Einen Überblick über die bestehenden Trainingsempfehlungen für die Bewegungstherapie im Rahmen der kardiologischen Rehabilitation liefert Tabelle 25.

Tab. 25: Trainingsempfehlungen für Herz-Kreislauf-Patienten in der kardiologischen Rehabilitation (VO_{2max} = maximale Sauerstoffaufnahme, VO_{2peak} = maximal gemessene Sauerstoffaufnahme, HF_{max} = maximale Herzfrequenz, HFR= Herzfrequenzreserve, $Watt_{max}$ = maximale Wattleistung, °gemessen im WHO-Belastungstest, *= ventilatorisch gemessene anaerobe Schwelle, **= laktatbasierte anaerobe Schwelle, #= keine Unterscheidung zwischen ventilatorisch gemessener und laktatbasierter anaerober Schwelle).

Organisation bzw. Erstautor Jahr	Trainings- steuerung	Intensität	Dauer	Häufigkeit	Methode
EACPR ¹⁸ Vahnhees 2012 (Angaben für die Anfangs- phase)	VO_{2peak}	40-50%	5-10 min	mind. 3-5 Tage / Woche, vorzugsweise täglich	Aerobes Ausdauertraining
	HFR	40%			
	HF_{max}	60%			
	Aerobe Schwelle*	Unterhalb der aeroben Schwelle			
	Borg-Skala	<11			
EACPR ¹⁸ Vahnhees 2012 (Angaben für die Verbesse- rungsphase)	VO_{2peak}	50-80%	10-20 (bis zu 30-45 min)	Mind. 3-5 Tage / Woche, vorzugsweise ≥ 5 Tage / Woche	Aerobes Ausdauertraining
	HFR	45-60%			
	HF_{max}	65-75%			
	Aerobe Schwelle*	Zwischen aeroben und anaeroben Schwelle			
	Borg-Skala	12-14			
Bjarnason- Wehrens 2011	VO_{2peak}	40-80%	≥ 30 min	3-5 Tage / Woche, vorzugsweise täglich	Ergometertraining, Laufband, (Nordic-) Walking, Joggen, Schwimmen
	HFR	40-60%			
	HF_{max}	60-75%			
	$Watt_{max}$	40-80%			
	Borg-Skala	11-14 nur ergänzend			

¹⁸ European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation.

EACPR ¹⁸ Piepoli 2010	Max. Belastbarkeit	55-70%	30-60 min	Min. 3 Tage / Woche	Aerobes Ausdauertraining
	HF _{max}	55-70%			
ACSM ¹⁹ 2010	VO _{2peak}	40-80%	20-60 min	4-7 Tage / Woche	Armergometer, Fahrradergometer, Crosstrainer, Stepper, Laufband, Rudermaschinen
	HFR	40-80%			
	Borg-Skala	11-16			
DGPR ²⁰ Bjarnason-Wehrens 2009	VO _{2peak}	40-80% (nahe der anaeroben Schwelle*)	≥ 30min	mind. 3 Tage / Woche, vorzugsweise täglich	Ergometertraining, Gehen, (Nordic-) Walking, Joggen, Schwimmen, Kardiogeräte
	HFR	40-60%			
	HF _{max}	60-75%			
	Borg-Skala	11-14 nur ergänzend			
Lavie 2009	VO _{2peak}	50-75% (nahe der anaeroben Schwelle#)	mind. 20-30 min, vorzugsweise 45-60 min.	mind. 5 Tage / Woche, vorzugsweise 6-7 Tage / Woche	Gehen, Joggen, Fahrradfahren, Schwimmen, Rudern, Stepper, Crosstrainer, aerobes Tanzen
	HFR	60-70%			
	HF _{max}	65-85%			
	VO _{2max}	60-70%			
Hofmann 2009	HFR	60-70%	10-30 min	3 Tage / Woche	Ergometertraining
	HF _{max}	65-85%			
	VO _{2max}	60-70%			
BSC ²¹ Dendale 2008	VO _{2max}	45-85%	≥ 40 min	3-5 Tage / Woche	Aerobes Ausdauertraining
	HF _{max}	60-90%			
ÖKG ²² Benzer 2008 / Wonisch 2008	Max. Belastbarkeit	50-70%	10-30 min	3 Tage / Woche	Ergometertraining
	HFR	50-70%			
	HF an anaerober Schwelle#	80-90%			
Piotrowicz 2008	HFR	40-80%	30 min	mind. 3 Tage / Woche vorzugsweise 5-7 Tage / Woche	Ergometertraining, Laufband
	Borg-Skala	12-13			
AHA ²³ / AACVPR ²⁴ Balady 2007	Max. Belastbarkeit	50-80%	20-60 min	3-5 Tage / Woche	Gehen, Laufband, Fahrradfahren, Rudern, Stepper, Arm-/ Beinergometrie und andere

¹⁹ American College of Sports Medicine.

²⁰ Deutsche Gesellschaft für Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislaufkrankungen e.V.

²¹ Belgian Society of Cardiology.

²² Österreichische Kardiologische Gesellschaft.

²³ American Heart Association.

²⁴ American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation.

Casillas 2007	HFR	65-85%	k.A.	mind. 3 Tage / Woche	Ergometertraining, Laufband, Stepper, Armergometer, Ruderergometer
DGPR ²⁰ Bjarnason-Wehrens 2007	Max. Belastbarkeit	40-80%	≥ 30 min, Schrittweise Steigerung	5-7 Tage / Woche	Ergometertraining als Basis, zusätzlich alltagsadaptierte, aerobe Ausdauerleistungen
Thompson 2005	HF _{max}	70-85%	≥ 20 min	mind. 3 Tage / Woche	Aerobes Ausdauertraining
Bitzer 2002	VO _{2max}	70%	1,5 – 5 Stunden / Woche		Aerobes Ausdauertraining
	HF _{max}	65-85%			
AHA ²³ Fletcher 2001	VO _{2max}	40-60%	mind. 30 min	mind. 3 Tage / Woche	Alle Aktivitäten unter Einsatz großer Muskelgruppen
	HFR	40-60%			
	Borg-Skala	12-13			
Ades 2001	HF _{max}	65-85%	30-45 min	2-4 Tage / Woche	Methoden der Wahl sind Gehen und Ergometertraining
Heitkamp 2001	HF	10% unter der HF an der anaeroben Schwelle**	k.A.	k.A.	Ergometertraining
	Borg-Skala	13			
Leon 2000	VO _{2max}	40-85%	20-60 min	3-5 Tage / Woche	Gehen, Joggen, Wassersport, Fahrradergometer, Crosstrainer, Ruderergometer
	HFR	40-85%			
	HF _{max}	50-90%			
	Borg-Skala	11-13			

Die Trainingsintensität wird in den einzelnen Empfehlungen teilweise mit einer großen Bandbreite des Prozentsatzes der jeweiligen Steuerungsgröße angegeben. Empfehlungen wie 45-85% der VO_{2peak} (Dendale et al. 2008) oder 40-60% der maximalen Herzfrequenzreserve (Fletcher et al. 2001) liefern lediglich einen Orientierungswert zur Festlegung der Trainingsintensität. Auffallend ist, dass zur Festlegung der Trainingsintensität überwiegend der Parameter Herzfrequenz entweder als HF_{max} oder HFR Verwendung findet. Der Grund hierfür dürfte sein, dass die Bestimmung der Herzfrequenz im Gegensatz zu den anderen Parametern VO_{2max} und Laktat mit geringerem apparativen, personellen und monetären Aufwand verbunden ist. Zudem ist die Herzfrequenz einfach und sicher zu ermitteln und eignet sich somit besonders gut als Parameter zur Trainingssteuerung.

Herzfrequenzbasiertes Training in der OpErgo-Studie

Bei der Berechnung der Trainingsintensität der herzfrequenzbasierten Gruppe wurde mit 60% der Herzfrequenzreserve die obere Grenze der

empfohlenen Bandbreite für moderate Belastungen gemäß den Empfehlungen der American Heart Association gewählt (Fletcher et al. 2001). Dies entspricht auch den Empfehlungen sowohl der Deutschen Gesellschaft für Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislaufkrankungen (Bjarnason-Wehrens et al. 2009) als auch der Europäischen Fachgesellschaft EACPR (Vanhees et al. 2012). Hintergrund war das durch die Ein- bzw. Ausschlusskriterien zu erwartende vergleichbar gut belastbare und durch die Auswahl der Klinik entsprechend junge Patientenkollekt. Beide Annahmen wurden im Studienverlauf bestätigt (vgl. Tabellen 1 und 19). Diese hieraus ermittelte Trainingsintensität wurde von den Teilnehmern insgesamt gut toleriert.

Laktatbasiertes Training in der OpErgo-Studie

Zur Festlegung der Trainingsintensität der laktatbasierten Gruppe wurden 60 % der Belastung gewählt, die im Belastungstest mit einer Belastung von 3,0 mmol/l verbunden war. Ziel war es, eine adäquate Trainingsbelastung im weitestgehend aeroben Bereich zu erzielen.

Die aerob-anaerobe Schwelle wurde von Mader et al. (1976) bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol/l definiert. Bei der Untersuchung, die dieser Definition zu Grunde lag, wurde die Belastungsuntersuchung in Form einer Laufbandergometrie durchgeführt. Die Stufendauer betrug 5,5 min, gefolgt von einer 30-sekündigen Pause zur Blutabnahme. Mader et al. (1976) haben mehrfach betont, dass die hier beschriebene aerob-anaerobe Schwelle bei 4 mmol/l nur für Belastungsuntersuchungen mit einer Stufendauer von mindestens 5 Minuten Gültigkeit besitzt.

Von Heck et al. (1985a) wurde der Begriff des maximalen Laktat-Steady-State (maxLass) definiert. Dieser beschreibt die höchste Laktatkonzentration, bei der sich während konstanter Dauerbelastung ein nahezu konstanter Laktatwert einstellt. „Als maxLass wurde die Belastung definiert, bei der das Laktat in den letzten 20 Minuten einer 30-minütigen Dauerbelastung nicht mehr als 1 mmol/l⁻¹ ansteigt“ (Heck & Beneke, 2008, S. 299). Heck et al. (1985b) konnten aufzeigen, dass eine Verkürzung der Stufendauer im Belastungstest mit einer Veränderung der Leistung einhergeht, bei der das maximale Laktat-Steady-State erreicht wird. Die Laktatleistungskurve wird

umso mehr nach rechts verschoben, je kürzer die Stufendauer bzw. je höher die Leistungssteigerung pro Stufe ist (Heck & Beneke 2008, Tegtbur et al. 2001). Heck et al. (1985b) konnten feststellen, dass das maxLass bei einer Stufendauer von 3 Minuten bei einer Laktatkonzentration erreicht wird, die im Mittel um 0,5 mmol/l niedriger liegt, als bei einer Belastungsuntersuchung mit 5-minütiger Stufendauer.

Heck (1990, S. 171) gelangte zu der Schlussfolgerung, dass *„für die häufig angewandten Testprotokolle „25 Watt/2min“ (...) der maxLass-bezogene Schwellenlaktatwert bei ca. 3 mmol/l“* liegt.

In der vorliegenden Arbeit wurde davon ausgegangen, dass das maximale Laktat-Steady-State der teilnehmenden Patienten bei im Belastungstest mit WHO-Schema erhobenen Laktatwerten von 3,0 mmol/l liegt. Mit der Wahl der Belastungsintensität von 60% der Leistung, die bei 3 mmol/l Laktat erreicht wurde, wurde eine überwiegend aerobe Trainingsbelastung angestrebt. Bjarnason-Wehrens et al. (2009) empfehlen in der DGPR-Leitlinie eine vergleichbare Trainingsintensität bei der Belastung, die gemessen im fahrradergometrischen Stufentest nach WHO-Schema bei einem Laktatwert von 2,0-2,5 mmol/l erreicht wurde.

In der OpErgo-Studie korrespondierte die Trainingsbelastung der laktatbasierten Gruppe mit einer Laktatkonzentration von im Mittel $1,8 \pm 0,2$ mmol/l, gemessen im Belastungstest mit 2-minütiger Stufendauer. Die Trainingsintensität der laktatbasierten Gruppe lag damit etwas unterhalb der in der DGPR-Leitlinie empfohlenen Trainingsbelastung. Da nach Röcker und Dickhuth (2001) wenigstens 3 Minuten Belastungsdauer bis zum Erreichen eines Equilibriums erforderlich sind, dürften die Laktatwerte im Training mit einer Dauer von im Mittel $21,5 \pm 1,5$ Minuten höher gelegen haben. Wünschenswert wäre eine Kontrolle der Trainingslaktatwerte der Patienten gewesen.

4.2. Ergebnisdiskussion

4.2.1. Trainingsempfehlungen der OpErgo-Studie

4.2.1.1 Trainingsintensität

Die Hypothese, dass sich bei der Ermittlung der individuellen Trainingsbelastung durch die beiden angewandten Methoden unterschiedliche Trainingsempfehlungen ergeben, konnte bei allen betrachteten Parametern bestätigt werden: Die Trainingsintensität in Watt, in Prozent der VO_{2peak} , in Prozent der symptomlimitierten Belastbarkeit und in Prozent der Leistung an der anaeroben Schwelle sowie alle beobachteten Parameter bzgl. der Trainingsherzfrequenz waren in der herzfrequenzbasierten Gruppe hoch signifikant höher ($p < 0,001$).

Nach Dwyer (1994) kann die Festlegung der Trainingsintensität anhand einzelner Bezugspunkte wie Herzfrequenz, Herzfrequenzreserve oder VO_{2peak} ohne Berücksichtigung von metabolischen und ventilatorischen Parametern zu einer großen Bandbreite der Trainingsempfehlungen führen. Auch Ferrand-Guillard et al. (2002) randomisierten 24 KHK-Patienten in zwei Trainingsgruppen, deren Trainingsintensitäten mit verschiedenen Berechnungsmethoden bestimmt wurden. Die Trainingsintensitäten wurden für die erste Gruppe mit der Karvonenformel (70%) und für die zweite Gruppe anhand der ventilatorischen Schwelle nach der V-Slope-Methode festgelegt. Dieses Verfahren zur Bestimmung der ventilatorischen anaeroben Schwelle korreliert mit der Bestimmung der aeroben Laktatschwelle (Hansen et al. 2007, Shimizu et al. 1991, Dickstein et al. 1990). Die ermittelten Trainingsherzfrequenzen unterschieden sich hoch signifikant ($p < 0,001$) innerhalb der beiden Gruppen. Die Gruppe, deren Intensität anhand der ventilatorischen Schwelle bestimmt wurde, absolvierte das Training mit einer Trainingsherzfrequenz von 90 S/min (=74% der HF_{max}). Die karvonenformelbasierte Intensität lag bei 110 S/min (=85% der HF_{max}).

Die Trainingsherzfrequenz der laktatbasierten Gruppe der vorliegenden Studie lag im Mittel bei 92 ± 12 S/min (=71% der HF_{max}), die herzfrequenzbasierte Empfehlung betrug im Mittel 103 ± 13 S/min (=79% HF_{max}). Der größere Intensitätsunterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen von Ferrand-Guillard et al. (2002) im Vergleich zur

OpErgo-Studie kann auf den höheren Prozentsatz bei der Karvonenformel (70% vs. 60%) zurückgeführt werden.

Welche Trainingsintensität beim Ausdauertraining mit KHK-Patienten am Geeignetsten ist, scheint aktuell noch nicht gesichert. Als Mindestbelastung zur Verbesserung der aeroben Fitness bei KHK-Patienten empfehlen Swain und Franklin (2002) 45% der VO_2 -Reserve. Die Vielfältigkeit der in Tabelle 25 aufgeführten Empfehlungen unterstreicht die Aussage von Rognmo et al. (2004, S. 217): „*Consensus about the most efficient exercise intensity to increase VO_{2peak} ist still lacking*“. So reicht die Bandbreite der Trainingsempfehlungen für KHK-Patienten bezüglich der maximalen Sauerstoffaufnahme von 40 bis 90 Prozent, um gesundheitsförderlich zu trainieren (Rognmo et al. 2004). Bitzer et al. (2002) analysierten 18 Interventionen aus 14 Studien zum Ausdauertraining nach Myokardinfarkt. Die Intensität betrug entweder 65-85% der im Belastungstest ermittelten maximalen Herzfrequenz oder ca. 70% der ermittelten maximalen Sauerstoffaufnahme. Eine Übersicht von Swain und Franklin (2002) über 23 Studien mit KHK-Patienten in 28 Ausdauertrainingsgruppen führt Trainingsintensitäten von 69-80% der im Belastungstest ermittelten maximalen Herzfrequenz bzw. von 50-95% der maximalen Sauerstoffaufnahme auf. Taylor et al. (2004) dokumentieren in ihrer Metaanalyse von 29 Studien eine Intensität von 76% der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. 76% der maximalen Herzfrequenz für das Training in der kardiologischen Rehabilitation. Die Ergebnisse der Reviewarbeiten und Metaanalysen (Taylor et al. 2004, Bitzer et al. 2002, Swain & Franklin 2002) zeigen zudem, dass die Art und Methode des Ausdauertrainings deutlich variieren. Tabelle 26 zeigt einen Überblick über Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten, die ausschließlich oder überwiegend auf dem Fahrradergometer nach der Dauermethode durchgeführt wurden.

Tab. 26: Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten nach der Dauermethode²⁵ (¹= Ergometertraining, ²= und/oder Laufband, ³= und/oder Walking/Jogging, ⁴= Handergometer).

Erstautor Jahr	n	Alter	Intensität		Dauer in Wochen	Frequenz / Woche	Dauer / Einheit
			VO _{2peak}	HF _{max}			
Bott: HF-Gruppe ¹	138	51	70%	79%	3	5 x	20-27 min
Bott: Laktat-Gruppe ¹	137	49	57%	71%	3	5 x	20-27 min
Bäck ¹ 2008	37	21	70%	--	32	5 x	30 min
Giallauria ¹ 2008	30	56	60-70%	--	24	3 x	30 min
Hansen ^{1,2,4} 2008	134	63	65%	--	7	3 x	40-60 min
Giallauria ¹ 2006	104	69	60%	--	12	3 x	30 min
Ferrand-Guillard ^{1,2} 2002	13	54	--	85%	4	5 x	40 min
Ferrand-Guillard ^{1,2} 2002	11	54	--	74%	4	5 x	40 min
La Rovere ¹ 2002	49	51	--	75-95%	4	5 x	30 min
Belardinelli ¹ 2001	59	53	60%	--	24	3 x	30 min
Nieuwland ¹ 2000	63	52		60-70% HFR	6	10 x	30 min
Bjarnason-Wehrens ¹ 1999	262	54	bei 1,5 - 2,5 Laktat des B-EKGs		4	5 x	18-33 min
Jensen ^{1,3} 1996	91	54	50%	--	48	3 x	45 min
Jensen ^{1,3} 1996	108	54	85%	--	48	3 x	45 min
Schuler ¹ 1992	56	53	--	75%	48	7 x	30 min
Oldridge ^{1,2,3} 1989	12	52	--	65-80%	12	5 x	75-90 min
Ehsani ^{1,3} 1986	25	52	60-90%	--	48	3-5 x	40-60 min
Hung ¹ 1984	21	53	--	70-85%	32	5 x	30 min

Die Trainingsintensitäten dieser Studien liegen in einem Bereich von 50-90% der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. zwischen 65% und 95% der maximalen Herzfrequenz, die im initialen Belastungstest erzielt wurde. In der Studie von La Rovere et al. (2002) nahm die Trainingsintensität kontinuierlich zu. Sie wurde über die 4-wöchige Interventionsdauer von 75% der HF_{max} auf 95% der HF_{max} erhöht.

²⁵ Die Veränderungen einzelner Parameter sind im Anhang bzw. den folgenden Tabellen aufgeführt.

Eine beachtliche Bandbreite findet sich auch in der Interventionsdauer (3-48 Wochen), der Trainingshäufigkeit pro Woche (3-10 Mal) sowie der Länge der jeweiligen Trainingseinheiten (18-90 Minuten) dieser Studien wieder.

Obwohl die Trainingsempfehlungen von einer niedrigen bis zu einer sehr hohen Intensität reichen, wird das Ausdauertraining mit KHK-Patienten meist bei niedrigen bis moderaten Intensitäten durchgeführt (Rognmo et al. 2004). Bereits eine moderate Trainingsintensität kann gemäß Franklin (2000) die körperliche Leistungsfähigkeit verbessern, die KHK-Risikofaktoren sowie die Glukosetoleranz positiv beeinflussen und möglicherweise die KHK-bezogene Sterblichkeit verringern. Unter Berücksichtigung der Bedeutung der endothelialen Funktion für kardiovaskuläre Ereignisse empfehlen Farsidfar et al. (2008), das Bewegungsprogramm in der kardiologischen Rehabilitation mit einer moderaten Intensität zu beginnen. Zur Evaluation der Effekte unterschiedlicher Trainingsintensitäten analysierten Blumenthal et al. (1988) zwei Trainingsgruppen mit KHK-Patienten, die drei Monate mit hoher bzw. niedriger Intensität trainierten. Sie ließen Patienten nach akutem Myokardinfarkt entweder mit 65-75% der VO_{2peak} oder <45% der VO_{2peak} über 12 Wochen drei Mal pro Woche trainieren. Das Ausdauertraining wurde über 50-65 Minuten als Walking oder Jogging absolviert. Die VO_{2peak} verbesserte sich in beiden Gruppen um 13% bzw. 15%, der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant. Auch Ferrand-Guillard et al. (2002) berichten nach einer 4-wöchigen Intervention in zwei Gruppen mit unterschiedlichen Trainingsintensitäten von vergleichbaren Trainingseffekten. Die Studienteilnehmer konnten bspw. die Sauerstoffaufnahme an der ventilatorischen Schwelle in beiden Trainingsgruppen in einem vergleichbaren Maße steigern (+17%), obwohl sich bei der Trainingsherzfrequenz mit 90 bzw. 110 Schlägen pro Minute ein hoch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen zeigte.

In einer Studie richteten Savage et al. (2009) ihren Fokus auf die Patienten, die keine Verbesserung der maximal gemessenen Sauerstoffaufnahme während der kardiologischen Rehabilitation erreichen konnten. Sie stellten fest, dass diese Patienten ihr Training mit einer hoch signifikant niedrigeren Intensität absolvierten als die restlichen Studienteilnehmer, die eine

Verbesserung der VO_{2peak} erzielen konnten (bei 73% vs. 79% der VO_{2peak}). Größere Trainingseffekte durch höhere Intensitäten bestätigen auch weitere Autoren. Jensen et al. (1996) verglichen die Trainingseffekte von 186 KHK-Patienten, die mit unterschiedlichen Trainingsintensitäten (85% vs. 50% VO_{2peak}) ein aerobes Ausdauertraining, drei Mal wöchentlich für je 45 Minuten, über einen Zeitraum von 12 Monaten absolvierten. Die Ergebnisse zeigen eine hoch signifikant größere Verbesserung (+13% vs. +9%) der maximalen Sauerstoffaufnahme in der intensiv trainierenden Gruppe.

Adachi et al. (1996) analysierten die Effektivität eines 8-wöchigen Ausdauertrainings mit 70% bzw. 55% der VO_{2peak} bei 29 Myokardinfarktpatienten. In der intensiver trainierenden Gruppe wurde eine signifikante Verbesserung der VO_{2peak} um 17% ($p=0,03$) versus 9% (n.s.) in der moderaten Gruppe festgestellt.

Da in diesen Studien die Trainingsdauer in beiden Gruppen gleich lang war, absolvierten die intensiven Gruppen einen größeren Trainingsumfang als die moderat trainierten Gruppen. Der größere Trainingseffekt kann daher nicht zwingend auf die höhere Trainingsintensität zurückgeführt werden. Bitzer et al. (2002, S. 227) kommen zwar bei ihrer Analyse von 18 Ausdauertrainingsinterventionsstudien mit KHK-Patienten zu der Schlussfolgerung: *„Je höher die Trainingsintensität, desto größer die Trainingseffekte“*. Die Studienlage hierzu ist jedoch keineswegs eindeutig. Die Frage, ob eine höhere Trainingsintensität oder ein gesteigerter Trainingsumfang zu größeren Trainingseffekten führt, ist nicht eindeutig beantwortet, zumal in vielen Untersuchungen der Gesamtumfang des Trainings in den verschiedenen Trainingsgruppen nicht beachtet bzw. ihm keine ausreichende Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Rognmo et al. (2004) untersuchten in zwei kleinen Gruppen mit elf bzw. zehn Teilnehmern die Trainingseffekte eines Intervalltrainings auf dem Laufband mit Intensitäten von 80-90% bzw. 50-60% der VO_{2peak} . Über eine unterschiedliche Trainingsdauer von 33 bzw. 41 Minuten sollte der Gesamtumfang gleich gehalten werden. Nach im Mittel 28 bzw. 25 Trainingseinheiten über 10 Wochen konnte die Trainingsgruppe mit hoher Intensität die maximale Sauerstoffaufnahme um 18% steigern, die moderate Trainingsgruppe lediglich um 8%. Die Autoren schließen daraus, dass intensives

Ausdauertraining auch bei KHK-Patienten größere Verbesserungen der VO_{2peak} hervorruft als moderates Training und es daher zur Optimierung in die Bewegungstherapie der kardiologischen Rehabilitation - zumindest für stabile KHK-Patienten - integriert werden sollte.

In der vorliegenden Untersuchung wurde der Trainingsumfang ebenfalls über die Anpassung der Trainingsdauer auf ein vergleichbares Niveau reguliert. Eine hoch signifikante Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme im Vergleich zur Eingangsuntersuchung zeigte sich nur in der laktatbasierten Gruppe. Ein Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen zeigte sich jedoch nicht. Die oben genannten Studien lassen darauf schließen, dass ein größerer Trainingseffekt und ggf. ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen durch eine Erhöhung des Trainingsumfangs (mehr Trainingseinheiten und/oder längere Interventionszeit) hätte erzielt werden können.

Auch in der Primärprävention der koronaren Herzkrankheit wird vermehrt zur intensiven körperlichen Aktivität geraten. Swain und Franklin (2006) kommen in ihrer Analyse sowohl epidemiologischer als auch klinischer Studien zu dem Ergebnis, dass bei gleichem Energieumsatz größere Trainingseffekte mit hohen Intensitäten erzielt werden können. Dies gilt ihrer Meinung nach auch für die positive Beeinflussung zahlreicher kardiovaskulärer Risikofaktoren. Einschränkend muss erwähnt werden, dass trotz vorteilhafteren Adaptationen des kardiovaskulären Systems bislang ungeklärt ist, ob diese intensive Trainingsform sicher ist oder zu vermehrten Komplikationen in der breiten Masse führen könnte (Wisløff et al. 2009). Nach Bjarnason-Wehrens et al. (2007) sind vor allem bei untrainierten Personen ungewohnt hohe Intensitäten mit einem Risiko für Herzinfarkt und plötzlichen Herztod verbunden.

Stilgenbauer et al. (2003) fordern bei der Trainingseinstellung für das Ausdauertraining mit Herzpatienten die Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit, der Trainingserfahrung, der linksventrikulären Funktion sowie des kardiovaskulären Risikos. Die Trainingsintensität sollte nach diesen Autoren 40, 50, 60 oder 70% der Herzfrequenzreserve betragen, in Abhängigkeit davon, welche maximale Belastbarkeit bzw. max. relative

Sauerstoffaufnahme im Belastungstest erzielt wurde. Je schlechter ein Patient belastbar ist, desto niedriger sollte die Trainingsintensität gewählt werden. Sehr niedrig belastbare Patienten ($< 3 \text{ METs}^{26}$) könnten nach Braverman (2011) alternativ ein 3-10 minütiges Intervalltraining 2-3 Mal pro Tag mit einer Intensität von 40-50% der maximalen Herzfrequenz durchführen.

Hohe Trainingsintensitäten scheinen nach Belman und Gaesser (1991) bei älteren Personen zwischen 65 und 75 Jahren auch nicht notwendig zu sein. Die Autoren berichten von vergleichbaren Trainingseffekten bei Intensitäten unter- bzw. oberhalb der Laktatschwelle (35% HFR vs. 75% HFR). Aus ihren Ergebnissen einer 8-wöchigen Trainingsintervention mit vier 30-minütigen Einheiten pro Woche folgern sie, dass eine moderate Intensität für dieses Klientel zur Verbesserung der aeroben Kapazität ausreichend erscheint. Wird darüber hinaus das Ziel einer möglichst hohen Fettverbrennungsrate angestrebt, gelten bei Gesunden moderate bis intensive Trainingsintensitäten zwischen 35% bis 75% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ als der optimale Trainingsbereich (Meyer et al. 2007, Bircher et al. 2005). Für ein Training auf dem Fahrrad wird die Intensität mit der höchsten Fettverbrennungsrate bei ca. 2,15 mmol/l Laktat angegeben (Bircher et al. 2005).

4.2.1.2 Trainingsherzfrequenz

Mit einem mittleren Unterschied von 10,8 S/min lag die empfohlene Trainingsherzfrequenz der herzfrequenzbasierten Gruppe hoch signifikant höher als die der laktatbasierten Gruppe ($p < 0,001$). Ferrand-Guillard et al. (2002) ermittelten in ihrer Studie mit 24 KHK-Patienten ebenfalls unterschiedliche Trainingsherzfrequenzen, wenn die Trainingsintensität nach zwei unterschiedlichen Berechnungsverfahren bestimmt wird. Jedoch war der Unterschied zwischen der karvonenformelbasierten Berechnung (70%) und der Orientierung an der ventilatorischen Schwelle nicht signifikant. Sie konnten aber aufzeigen, dass die aus den unterschiedlichen Berechnungsverfahren resultierenden Trainingsempfehlungen mit den im Training tatsächlich erhobenen Trainingsherzfrequenzen übereinstimmten.

²⁶ 1 metabolisches Äquivalent = 3,5 ml O_2 /kg/min.

Die Trainingsherzfrequenzen der vorliegenden Studie sind mit den Ergebnissen von Meyer und Weidemann (1985) vergleichbar. Die Autoren ermittelten bei 302 Herzinfarktpatienten die mittleren maximalen Laktatwerte und die mittleren maximalen Trainingsherzfrequenzen, die während eines 15-minütigen Ausdauertrainings auf dem Fahrradergometer mit einer Trainingsintensität von 85% der maximalen Herzfrequenz des symptomlimitierten Belastungstests erzielt wurden. Bei einer Trainingsbelastung von 75 Watt wurde eine mittlere Herzfrequenz von 98 S/min erzielt, die Trainingsempfehlung der herzfrequenzbasierten Gruppe der vorliegenden Arbeit betrug 80 Watt und 103 S/min. Bei einer Belastung von 50 Watt erzielten die Herzinfarktpatienten bei Meyer und Weidemann (1985) eine Trainingsherzfrequenz von 93 S/min, die Empfehlung der laktatbasierten Gruppe dieser Arbeit betrug im Mittel 56 Watt und 92 S/min.

Tegtbur et al. (2001, s. 643) beschreiben einen „*semi-individuellen Charakter*“ der Festlegung der Trainingsintensität unter Verwendung der Herzfrequenz, hier insbesondere der maximalen symptomlimitierten Herzfrequenz. Eine Bandbreite von bspw. 70-90% der im Belastungstest erzielten $HF_{\max}$ entsprach einer Variationsbreite von ca. 30 S/min. Im Kollektiv dieser Studie trennte jedoch eine mittlere Differenz von lediglich ca. 6-7 S/min den Bereich akzeptabler, effizienter Dauerbelastung von einer metabolischen Überbelastung.

Da bei der Berechnung der Trainingsintensität der herzfrequenzbasierten Gruppe der OpErgo-Studie die Karvonenformel Verwendung fand, dürfte die Variationsbreite der Trainingsherzfrequenzen geringer ausfallen. Die Bandbreite der AHA-Empfehlungen betrug zwar ebenfalls 20% der Herzfrequenzreserve, durch die Einbeziehung des Ruhepulses als Konstante der Formel fällt dies jedoch weniger ins Gewicht als bei einem rein prozentualen Bezug der maximalen Herzfrequenz. Dennoch ist auch bei der Verwendung der Karvonenformel von einer gewissen Variationsbreite der berechneten Trainingsintensitäten auszugehen.

4.2.1.3 Laktatkonzentration gemäß Trainingsempfehlungen

Die beiden Methoden zur Festlegung der Trainingsintensität führten zu hoch signifikant unterschiedlichen metabolischen Belastungen der beiden

ausgesprochenen Trainingsempfehlungen ($p < 0,001$). Da in der vorliegenden Studie keine Messung der im Training tatsächlich aufgetretenen Laktatwerte erfolgte, kann über deren tatsächliche Höhe nur spekuliert werden. Aufgrund der unter 4.1.5.3 beschriebenen notwendigen Zeitspanne von mindestens 3 Minuten zur Bildung eines Laktat-Equilibriums muss von höheren Werten im Training ausgegangen werden, als diese im Belastungstest mit 2-minütiger Stufendauer ermittelt wurden (Röcker & Dickhuth 2001).

Dennoch dürften die Trainingslaktatwerte der laktatbasierten Gruppe mit den im Belastungstest erhobenen $1,8 \pm 0,2$ mmol/l Laktat pro Liter Blut in dem von Stilgenbauer et al. (2003) sowie Heck (1990) empfohlenen Belastungsbereich für KHK-Patienten gelegen haben. Die Laktatwerte der herzfrequenzbasierten Gruppe übersteigen bereits mit den im Belastungstest ermittelten $2,6 \pm 0,8$ mmol/l den von Heck (1990) benannten Zielkorridor von 1,5 bis 2,5 mmol/l. Kritisch ist jedoch in erster Linie die große Streuung der Einzelwerte der herzfrequenzbasierten Gruppe anzumerken. Sie reicht von 1,2 mmol/l bis zu 5,4 mmol/l in dieser Trainingsgruppe. Der maximal gemessene Laktatwert bei der karvonenformelbasierten Festlegung der Intensität, bezogen auf die Gesamtgruppe, lag bei einem Patienten mit 6,3 mmol/l sogar noch deutlich höher. Aufgrund der Randomisierung trainierte dieser Patient jedoch mit niedrigerer Intensität in der laktatbasierten Gruppe. Hohe Laktatwerte sind für KHK-Patienten deshalb kritisch zu sehen, da der Anstieg der Plasmakatecholamine parallel zur Laktatleistungskurve verläuft (Heitkamp und Hipp 2001, Dickhuth et al. 1999, Schneider et al. 1992). Adrenalin und Noradrenalin steigen ab Erreichen der aeroben Schwelle annähernd exponentiell an. Ein zunehmend sympathischer Einfluss führt zu einem deutlich erhöhten myokardialen Sauerstoffbedarf (Heitkamp und Hipp 2001). Dies könnte bei KHK-Patienten das Risiko für akute kardiale Ereignisse erhöhen (Nieuwland et al. 2002, Coplan et al. 1986). Daher sollte das Ausdauertraining mit KHK-Patienten den Bereich der anaeroben Schwelle nicht überschreiten (Tegtbur et al. 2002). Wisløff et al. (2007) belegen hingegen die gute Durchführbarkeit eines intensiven Trainings, auch mit älteren Herzinsuffizienzpatienten und stark eingeschränkter kardiovaskulärer Funktion. Sie randomisierten 27 Herzinsuffizienzpatienten in zwei Trainingsgruppen mit moderatem Ausdauer- bzw. intensivem

Intervalltraining über einen Trainingszeitraum von 12 Wochen. Die intensive Gruppe trainierte 3 Mal wöchentlich mit einer Intensität von 95% der im Belastungstest maximal erreichten Herzfrequenz. In den vier 4-minütigen Walking-Intervallen erreichten diese Patienten zu Interventionsbeginn einen mittleren Laktatwert von 5,0 mmol/l, am Interventionsende lag dieser bei 5,2 mmol/l. Die moderat gesteuerte Gruppe trainierte über 47 Minuten mit einer Intensität von 70-75% der im Belastungstest ermittelten maximalen Herzfrequenz und einem Laktatwert von eingangs 2,3 mmol/l bzw. ausgangs 2,4 mmol/l. Die signifikant höheren Trainingslaktatwerte der Intervalltrainingsgruppe wurden von den im Durchschnitt 77 Jahre alten Patienten offenbar gut toleriert. Die körperliche Leistungsfähigkeit, das linksventrikuläre Remodeling, die endotheliale Funktion und die Lebensqualität konnten in der Intervalltrainingsgruppe stärker als in der Ausdauertrainingsgruppe verbessert werden. Die Vergleichbarkeit der Studie von Wisløff et al. (2007) mit der vorliegenden Arbeit ist u.a. durch die unterschiedlichen Krankheitsbilder, das höhere Alter der Patienten und vor allem durch das differierende Trainingsprofil stark eingeschränkt. Die Studie liefert dennoch Hinweise, dass höhere Intensitäten mit höheren Trainingslaktatwerten über einen kurzen Belastungszeitraum auch bei stark eingeschränkten KHK-Patienten praktikabel sind. Von niedrigeren Trainingslaktatwerten berichten hingegen Meyer und Weidemann (1985) in ihrer Studie mit 302 Herzinfarktpatienten. Während eines 15-minütigen Ausdauertrainings auf dem Fahrradergometer wurde in der 3., 7., 11. und 15. Belastungsminute Kapillarblut zur Laktatwertbestimmung abgenommen, wovon der höchste Wert in die statistische Auswertung einfluss. Bei einer Trainingsintensität von 80% der symptomlimitierten maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. einer Trainingsherzfrequenz von 85% der maximalen Herzfrequenz des symptomlimitierten Belastungstests wurde bspw. bei einer Trainingsbelastung von 100 Watt ein durchschnittlicher maximaler Trainingslaktatwert von $2,58 \pm 1,27$ mmol/l erreicht.

Farsidfar et al. (2008, S. 373) weisen in ihrer Studie zu den Effekten körperlichen Trainings mit unterschiedlichen Intensitäten auf die endotheliale Funktion bei KHK-Patienten darauf hin, dass: *„The anaerobic threshold might be an important parameter for dosing the exercise intensity (...) during*

cardiac rehabilitation“. Neben ventilatorischen Verfahren gilt die Laktatmessung hierbei als die beste Methode, um die tatsächliche anaerobe Schwelle voraus zu berechnen (Nieuwland et al. 2002, Urhausen et al. 1993). Daher empfehlen Heitkamp und Hipp (2001) ihren Einsatz auch für die Phase II der kardialen Rehabilitation.

Die ermittelten Laktatwerte der OpErgo-Studie legen die Schlussfolgerung nahe, dass die von der American Heart Association empfohlene Bandbreite von 40-60% der Herzfrequenzreserve (Fletcher et al. 2001) zur Festlegung der Trainingsintensität in der kardiologischen Rehabilitation praktikabel ist, im oberen Bereich jedoch mit einer hohen metabolischen Belastung verbunden sein kann. Von einer Steigerung des Prozentsatzes, wie von manchen Autoren empfohlen (Lavie et al. 2009, Hofmann et al. 2009, Piotrowicz & Wolszakiewicz 2008, Casillas et al. 2007), ist aus dieser Sichtweise abzuraten. Tegtbur et al. (2001) stellen generell empirische Richtwerte als Herzfrequenz oder Laktatkonzentration in Frage, da diese von den individuellen Gegebenheiten u.U. stark abweichen und zu einer kardialen Gefährdung der Patienten führen können.

Die Methode der Laktatmessung zur Bestimmung der individuellen metabolischen Belastung vor Aufnahme bzw. während des Trainings könnte das kardiale Risiko beim Training in der kardiologischen Rehabilitation reduzieren.

4.2.2. Einfluss der Intervention auf die Leistung und die Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten bzw. der Leistung bei definierten Herzfrequenzen

4.2.2.1 Leistung bei definierten Laktatwerten

Die Leistung in Watt konnte in beiden Gruppen bei allen definierten Laktatwerten von 2,0, 2,5 und 3,0 mmol/l Blut zwischen 5,1% und 10,1% hoch signifikant gesteigert werden ($p < 0,001$). Der Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen war bei keinem der definierten Laktatwerte signifikant, obgleich bei allen Laktatwerten prozentual gesehen größere Veränderungen in der herzfrequenzbasierten Gruppe beobachtet wurden (7,1%-10,1% vs. 5,1%-6,9%). Im Vergleich hierzu konnten Bjarnason-

Wehrens et al. (1999) nach einer 4-wöchigen Trainingsintervention eine Erhöhung der Leistung bei definierten Laktatwerten um 13,5% bis 19,7% feststellen. Die Autoren werteten die Ergebnisse von 262 KHK-Patienten aus, die 5 Mal täglich auf dem Fahrradergometer für mindestens 18-33 Minuten mit einer Intensität zwischen 1,5 und 2,5 mmol/l im Stufentest trainierten. Die Trainingsintensität, -frequenz und -dauer sowie die Methode des Ausdauertrainings dieser Studienteilnehmer sind somit vergleichbar mit den Parametern der laktatbasierten Gruppe der vorliegenden Arbeit. Die größeren Trainingseffekte der Studienteilnehmer bei Bjarnason-Wehrens et al. (1999) scheinen somit mit der längeren Interventionsdauer und insbesondere mit im Mittel 70% mehr Trainingseinheiten begründbar zu sein. Das leicht höhere mittlere Alter von $53,6 \pm 10,2$ Jahren dieser Studienteilnehmer kann vernachlässigt werden, da nicht von einem schlechter trainierten Patientenkontingent ausgegangen werden kann. Die mittlere Leistung bei 2,0 mmol/l vor Aufnahme des Trainings lag bei 178 dokumentierten Patienten mit 72,2 Watt sogar um 7,4 Watt höher als in der laktatbasierten Gruppe der OpErgo-Studie.

Die Hypothese, dass die Effizienz des Ergometertrainings durch die Belastungssteuerung auf Basis von metabolischen Parametern entsprechend einer Trainingsintensität von 60% der Belastung, die bei einer Laktatkonzentration von 3 mmol/l Laktat im Belastungstest erreicht wurde, erhöht wird, kann hinsichtlich der Leistung bei definierten Laktatwerten nicht bestätigt werden. Größere Trainingseffekte hätten in beiden Gruppen vermutlich durch eine längere Interventionsdauer und vor allem häufigere Trainingseinheiten während der Interventionszeit erzielt werden können. Fraglich ist, ob diese einen Gruppenunterschied zu Gunsten der laktatbasierten Gruppe hätte aufzeigen können.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung dokumentieren jedoch in beiden Gruppen eine reale Verbesserung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, die unabhängig von einer ggf. höheren subjektiven Ausbelastung anhand der Laktatmessung belegt werden kann.

4.2.2.2 Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten

In der laktatbasierten Gruppe konnte die Herzfrequenz bei allen definierten Laktatwerten zwischen 2,1% und 2,9% signifikant bzw. hoch signifikant reduziert werden. Eine hoch signifikante Senkung in der herzfrequenzbasierten Gruppe zeigte sich bei einem definierten Laktatwert von 3,0 mmol/l (-1,2%). Der Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen war lediglich bei 2,0 mmol/l signifikant. In der Studie von Bjarnason-Wehrens et al. (1999) blieb die Herzfrequenz bei den drei definierten Laktatwerten konstant bzw. stieg leicht an.

Somit wurden in der OpErgo-Studie bessere Effekte bzgl. der Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten erzielt. Trotz einer hoch signifikanten Leistungszunahme bei 2,0, 2,5 und 3,0 mmol/l blieb die Herzfrequenz auf diesem Niveau konstant bzw. sank leicht ab. Dies deutet auf eine Ökonomisierung des Herz-Kreislauf-Systems hin, die mit einer Senkung der Herzfrequenz für eine bestimmte Belastung verbunden ist.

Während der Intervention wurde die Medikation mit herzfrequenzsenkenden Medikamenten nur geringfügig verändert. Erhielten zu Beginn der Rehabilitation rund 96% der Patienten einen Betablocker, waren es am Ende rund 98%. Die Anzahl der Patienten, denen Kalziumantagonisten verschrieben wurden, nahm im Rehabilitationsverlauf von 14 (5%) auf 30 (11%) zu. Die nur leicht veränderte Verordnungspraxis herzfrequenzsenkender Medikamente war in beiden Trainingsgruppen vergleichbar. Daher kann die Senkung der Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten überwiegend auf eine Ökonomisierung des Herz-Kreislauf-Systems zurückgeführt werden.

Dennoch konnte auch anhand der Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten die Hypothese nicht bestätigt werden, dass sich die Effizienz des Ergometertrainings in der laktatbasierten Gruppe bei 2,5 bzw. 3,0 mmol/l erhöht. Der Gruppenunterschied war lediglich bei 2,0 mmol/l signifikant.

4.2.2.3 Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten

Die Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten verbesserte sich durch die Intervention in beiden Gruppen hoch signifikant bei allen betrachteten

Herzfrequenzwerten von 85 bis 120 S/min. Die größten Leistungsverbesserungen konnten auf dem Niveau von 85 S/min mit 16% in der herzfrequenzbasierten und mit 21,7% in der laktatbasierten Gruppe erzielt werden. Der Unterschied zwischen den Gruppen war auf keinem Niveau signifikant. Die Höhe der relativen Verbesserung nahm annähernd sukzessive ab, je höher die Herzfrequenz anstieg. Bei der definierten Herzfrequenz von 120 S/min betrug die Verbesserung in der herzfrequenzbasierten Gruppe noch 7,6%, in der laktatbasierten Gruppe noch 11%. Die Leistung nahm hingegen bei den betrachteten Herzfrequenzwerten von 85 bis 120 S/min von Stufe zu Stufe von rund 40 auf bis zu 120 Watt in beiden Gruppen zu.

In der Studie von Bjarnason-Wehrens et al. (1999) ist die Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten von 85 bis 110 mit Intervallen von 5 S/min aufgeführt. Durch die Intervention konnten auch diese Patienten die Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten bei allen betrachteten Werten hoch signifikant steigern. Auffallend ist die deutlich reduzierte Bandbreite der absoluten Leistungshöhe in Watt bei den betrachteten Herzfrequenzwerten. Von 85 bis 110 S/min wurde vor der Reha eine Leistung von im Mittel 56 bis 73,6 Watt erzielt, nach der Reha von 65,8 bis 90,4 Watt. Da in beiden Studien Patienten unter Betarezeptorenblockermedikation, die während der Intervention nicht bzw. nur geringfügig verändert wurde, einfließen, kann der vergleichbar hohe Ausgangswert und die geringere absolute Leistungsverbesserung im Vergleich zur vorliegenden Studie nicht erklärt werden.

Die aufgezeigten Leistungsverbesserungen bei definierten Herzfrequenzwerten unterstreichen die im Bezug zur metabolischen Belastung bereits nachgewiesene Ökonomisierung der Herz-Kreislauffunktion.

Die Frage, welches Verfahren die höchste Effizienz zur Steigerung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit, gemessen an der Veränderung der Leistung bei 2,5 und 3,0 mmol/l Laktat pro Liter Blut, erzielt, kann für den betrachteten 3-wöchigen Interventionszeitraum nicht beantwortet werden. Bei einem Trainingsumfang von im Mittel $10,7 \pm 1,1$ Einheiten mit einer Dauer von im Mittel $21,5 \pm 1,5$ min scheinen die beiden ermittelten unterschied-

lichen Belastungsintensitäten keinen signifikanten Einfluss auf die Trainingseffekte zu nehmen. Andere Studien legen die Vermutung nahe, dass sich durch eine längere Interventionsdauer Unterschiede zwischen den beiden Trainingsgruppen hätten zeigen können (Savage et al. 2009, Rognmo et al. 2004, Adachi et al. 1996, Jensen et al. 1996).

4.2.3. Einfluss der Intervention auf die körperliche Belastbarkeit

4.2.3.1 Einfluss der Intervention auf die max. Leistung in Watt

Die maximale im Belastungstest ermittelte Leistung in Watt konnte durch die Intervention in der herzfrequenzbasierten Gruppe um 3,8% und in der laktatbasierten Gruppe um 5,6% hoch signifikant gesteigert werden. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war nicht signifikant ($p=0,17$). Die Leistungsverbesserung liegt in beiden Gruppen deutlich unter allen in Tabelle 27 aufgeführten Studien mit vergleichbarem Patientenkontext und einem hinsichtlich Methode und Intensität ähnlichem Ausdauertraining. Die Verbesserungen der maximalen Leistung reichen in diesen zwölf Studien mit 768 KHK-Patienten von 13% (Hansen et al. 2008) bis 29% (Giallauria et al. 2006). Die Interventionsdauer, die Trainingshäufigkeit sowie die Dauer je Trainingseinheit variieren jedoch stark zwischen den einzelnen Studien (vgl. Tabelle 26).

Die vergleichsweise geringen Leistungsverbesserungen könnten in der mit im Mittel 10,8 Trainingseinheiten umfassenden geringen Trainingshäufigkeit begründet sein. Bei vergleichbaren Intensitäten konnten andere Autoren bereits nach einer 4-wöchigen Intervention deutlich größere Leistungsverbesserungen dokumentieren (Ferrand-Guillard et al. 2002, Bjarnason-Wehrens et al. 1999). Die Intervention beinhaltete bspw. bei Bjarnason-Wehrens et al. (1999) im Mittel $18,4 \pm 1,9$ Trainingseinheiten auf dem Fahrradergometer.

Die größere Zunahme der maximal erreichten Wattleistung könnte darüber hinaus aus der angewandten Methode des Belastungstests resultieren. Von den aufgeführten Studien wurde der Belastungstest lediglich bei Bjarnason-Wehrens et al. (1999) wie in der vorliegenden Studie nach dem WHO-Schema mit einer Steigerung um 25 Watt alle zwei Minuten durchgeführt. Ein

Großteil der in Tabelle 27 aufgeführten Studien weist ein Testprotokoll mit einer Steigerung um 10 bis 15 Watt pro Minute auf (Bäck et al. 2008, Giallauria et al. 2008, Hansen et al. 2008, Ferrand-Guillard et al. 2002, Nieuwland et al. 2000, Oldridge et al. 1989). Geht man davon aus, dass nur vollständig absolvierte Stufen des Belastungstests in die Ergebnisse einfließen, so kann spekuliert werden, dass eine kürzere Stufendauer zu höheren Leistungsverbesserungen führt. Bei kleineren Stufen kann eine Verbesserung um bspw. 10 Watt dokumentiert werden, bei Durchführung nach dem WHO-Schema muss mindestens eine Steigerung um 25 Watt für 2 Minuten erzielt werden, damit sich diese in der Dokumentation wiederfindet. Nach McCartney et al. (1989) führt häufig eine periphere muskuläre Erschöpfung zur Beendigung des Belastungstests, ohne dass eine kardiale Einschränkung vorliegt. Zur exakten Messung auch kleinerer, trainingsbedingter Verbesserungen der körperlichen Leistungsfähigkeit beschreiben die Autoren daher ein Belastungsverfahren mit einer nur kurzen, 30-sekündigen Belastungsdauer²⁷. Die restlichen Studien verwendeten differierende Testprotokolle auf dem Laufband und sind daher nur eingeschränkt mit dem WHO-Schema der vorliegenden Untersuchung auf dem Fahrradergometer vergleichbar. Abschließend muss kritisch erwähnt werden, dass die Messung der maximalen Leistung motivationsabhängig ist und *„durch die Erfahrung der die Ergometrie überwachenden Person sowie durch evtl. unterschiedliche Abbruchkriterien beeinflusst“* wird (Heitkamp & Hipp 2001, S. 451).

Tab. 27: Trainingseffekte von Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten auf die maximale Leistung in Watt (¹=Ergometertraining, ²=und/oder Laufband, ³=und/oder Walking/Jogging, ⁴= Handergometer).

Erstautor Jahr	n	Alter	Intensität		Dauer in Wochen	Trainingseffekt
			VO _{2peak}	HF _{max}		Watt _{max}
Bott: HF-Gruppe ¹	138	51	70%	79%	3	+ 3,8%
Bott: Laktat-Gruppe ¹	137	49	57%	71%	3	+ 5,6%
Bäck ¹ 2008	37	21	70%	--	32	+ 15%
Giallauria ¹ 2008	30	56	60-70%	--	24	+ 24%
Hansen ^{1,2,4} 2008	134	63	65%	--	7	+ 13%

²⁷ Vgl. Wingate Test.

Giallauria ¹ 2006	104	69	60%	--	12	+ 29%
Ferrand-Guillard ^{1,2} 2002	13	54	--	85%	4	+ 17%
Ferrand-Guillard ^{1,2} 2002	11	54	--	74%	4	+ 20%
Nieuwland ¹ 2000	63	52		60-70% HFR	6	+ 18%
Bjarnason-Wehrens ¹ 1999	262	54	bei 1,5 - 2,5 Laktat des B-EKGs		4	+ 16%
Schuler ¹ 1992	56	53	--	75%	48	+ 23%
Oldridge ^{1,2,3} 1989	12	52	--	65-80%	12	+ 14%
Ehsani ^{1,3} 1986	25	52	60-90%	--	48	+ 26%
Hung ¹ 1984	21	53	--	70-85%	32	+ 24%

4.2.3.2 Einfluss der Intervention auf die max. Sauerstoffaufnahme

Eine Zunahme der im Belastungstest maximal gemessenen Sauerstoffaufnahme ist das beste Korrelat einer verbesserten Prognose (Savage et al. 2009, Kavanagh et al. 2003). Bereits eine Verbesserung um 1% der VO_{2peak} senkt das Risiko der kardiovaskulären Sterblichkeit um 2 % (Vanhees et al. 1995). Absolut betrachtet geht eine Verbesserung der VO_{2peak} um 1,0 ml/kg/min mit einer Reduktion der kardiovaskulären Sterblichkeit um 9% einher (Kavanagh et al. 2002). Darüber hinaus hat sich die maximale Sauerstoffaufnahme als die stärkste Einflussvariable auf das Sterblichkeitsrisiko bei Menschen mit und ohne kardiovaskulärer Erkrankung erwiesen (Hansen et al. 2008, Keteyian et al. 2008, Kavanagh et al. 2002, Myers et al. 2002). Nach Leon et al. (2005) und Franklin (2000) kann angeleitete, rehabilitative Bewegungstherapie die maximale Sauerstoffaufnahme um 11% bis 36% bei KHK-Patienten verbessern. In einer systematischen Zusammenfassung, in die die Ergebnisse von 131 Studien mit insgesamt 7590 KHK-Patienten eingeschlossen wurden, konnten Verbesserungen der VO_{2peak} von 7% - 54% durch eine ausdauerorientierte Trainingsintervention festgestellt werden (Hansen et al. 2005). Die Patienten können ihre maximale Sauerstoffaufnahme umso mehr erhöhen, je niedriger das Ausgangsniveau ist (Franklin 2000).

Die maximale sowie die max. relative Sauerstoffaufnahme konnte durch die Intervention lediglich in der laktatbasierten Gruppe jeweils hoch signifikant um 3,5% verbessert werden. Der Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen war jedoch nicht signifikant.

Aamot et al. (2010) randomisierten 39 Myokardinfarktpatienten in zwei Trainingsgruppen, von denen eine direkt nach der Krankenhausentlassung (EG=early group), die Kontrollgruppe (CG=control group) erst vier Wochen später mit dem Training begann. Das Ausdauertraining wurde 2 Mal wöchentlich mit einer Intensität zwischen 50-70% der maximal im Belastungstest gemessenen Herzfrequenz für jeweils 60 min durchgeführt. Nach vier Wochen Trainingsintervention waren in beiden Gruppen keine signifikanten Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme feststellbar. Nach einer weiteren 12-wöchigen Trainingsintervention wurde hingegen in beiden Gruppen eine hoch signifikante Zunahme der VO_{2peak} um 8,2% in der EG und um 10,7% in der CG festgestellt. Die Autoren führen die ausbleibende Verbesserung der VO_{2peak} nach den ersten vier Wochen auf das mit im Mittel 61 Jahre alte vergleichsweise junge und fitte Klientel zurück. Vor Aufnahme des Trainings betrug die maximale relative Sauerstoffaufnahme dieser Patienten im Mittel bereits rund 31 ml/kg/min. Sie vermuten zudem, dass der Trainingsumfang in den ersten vier Wochen ihrer Intervention zu gering war, um entsprechende Effekte zu erzielen. Rognmo et al. (2004) konnten durch ein 10-wöchiges Training bei 21 Patienten sowohl mit sehr intensivem Intervalltraining (vier 4-minütige Belastungsintervalle bei 80-90% der VO_{2peak}) als auch mit moderatem aeroben Ausdauertraining (50-60% der VO_{2peak}) bei 3 Trainingseinheiten pro Woche à 41 min signifikante Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme in beiden Gruppen (17,9% u. 7,9%) erzielen. Die Verbesserung in der Gruppe mit intensivem Training war signifikant größer als in der Gruppe mit moderatem Training. Der Zeitpunkt des Trainingsbeginns nach dem Akutereignis könnte ebenfalls einen Einfluss auf die Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme haben. Nach Franklin (2000) stellt sich 3-11 Wochen nach klinisch unkompliziertem Myokardinfarkt eine spontane Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit von 2-3 METs ein, selbst wenn kein strukturiertes körperliches Training

durchgeführt wird. Es kann somit spekuliert werden, dass in diesem Zeitraum der Trainingseffekt um einen Spontanheilungseffekt vergrößert wird.

Tabelle 28 zeigt die Interventionseffekte auf die maximale und max. relative Sauerstoffaufnahme von Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten mit ähnlichem Interventionsdesign.

Tab. 28: Trainingseffekte von Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten auf die maximale und max. relative Sauerstoffaufnahme (¹=Ergometertraining, ²=und/oder Laufband, ³=und/oder Walking/Jogging, ⁴= Handergometer).

Erstautor Jahr	n	Alter	Intensität		Dauer in Wochen	Trainingseffekt	
			VO _{2peak}	HF _{max}		VO _{2peak}	VO _{2ml/kg/min}
Bott: HF-Gruppe ¹	138	51	70%	79%	3	+ 1,9%	+ 1,8%
Bott: Laktat-Gruppe ¹	137	49	57%	71%	3	+ 3,5%	+ 3,5%
Giallauria ¹ 2008	30	56	60-70%	--	24	--	+ 30%
Hansen ^{1,2,4} 2008	134	63	65%	--	7	+ 12%	--
Giallauria ¹ 2006	104	69	60%	--	12	+ 20%	--
Ferrand-Guillard ^{1,2} 2002	13	54	--	85%	4	--	+ 12%
Ferrand-Guillard ^{1,2} 2002	11	54	--	74%	4	--	+ 14%
La Rovere ¹ 2002	49	51	--	75-95%	4	--	sign. Zunahme
Belardinelli ¹ 2001	59	53	60%	--	24	+ 25%	+ 27%
Nieuwland ¹ 2000	63	52		60-70% HFR	6	--	+ 15%
Jensen ^{1,3} 1996	91	54	50%	--	48	+ 9%	--
Jensen ^{1,3} 1996	108	54	85%	--	48	+ 13%	--
Schuler ¹ 1992	56	53	--	75%	48	--	+ 11%
Oldridge ^{1,2,3} 1989	12	52	--	65-80%	12	+ 18%	--
Ehsani ^{1,3} 1986	25	52	60-90%	--	48	--	+ 37%

Die maximale bzw. max. relative Sauerstoffaufnahme konnte in diesen 13 Studien, die insgesamt 716 Teilnehmer einschlossen, um 9% bis 37% gesteigert werden. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass die Interventionsdauer, die Trainingshäufigkeit sowie die Dauer je Trainingseinheit stark zwischen den einzelnen Studien variierten (vgl. Tabelle 26). Blumenthal et al. (1988) konnten eine Verbesserung der VO_{2peak} um 13-15% unabhängig von einer hohen oder niedrigen Intensität des Walkingtrainings feststellen. Die

Intervention war jedoch mit 12 Wochen deutlich länger angelegt. Sowohl in der Untersuchung von Ferrand-Guillard et al. (2002) als auch der von Jensen et al. (1996) wurden in beiden Trainingsgruppen mit 9%-14% der VO_{2peak} größere Verbesserungen als in der OpErgo-Studie erzielt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind ernüchternd, da sie nicht das Niveau der in anderen Studien publizierten Verbesserungen erreichen. Die Patienten dieser Studien waren überwiegend hinsichtlich Alter und Dekonditionierung mit dem Patientenkontext der vorliegenden Arbeit vergleichbar. Die maximale relative Sauerstoffaufnahme vor der Intervention lag bspw. bei Ferrand-Guillard et al. (2002) im Mittel bei 19,5 ml/kg/min (n=11) bzw. 18,5 ml/kg/min (n=13). Die Teilnehmer von Jensen et al. (1996) erreichten zu Studienbeginn eine Sauerstoffaufnahme von im Mittel 24,3 ml/kg/min (n=91) bzw. 25,3 ml/kg/min (n=108). In der OpErgo-Studie erzielten die Patienten initiale Werte von im Mittel 22,6 ml/kg/min bzw. 23 ml/kg/min und liegen damit im mittleren Bereich der verglichenen Studien. Ihre VO_{2peak} ist damit jedoch deutlich höher als die von Ades et al. (2006) berichteten Werte von 19,3 ml/kg/min bei Männern und 14,5 ml/kg/min bei Frauen, die an 2896 KHK-Patienten vor Aufnahme der kardiologischen Rehabilitation während einer Laufbandergometrie erhoben wurden. Da die maximale Sauerstoffaufnahme bei Durchführung des Belastungstests auf dem Laufband aufgrund des größeren Muskeleinsatzes als auf dem Fahrradergometer um ca. 10% höher liegt (Breuer 2004), schränkt dies allerdings die Vergleichbarkeit mit der vorliegenden Studie ein.

Nach Duscha et al. (2005) scheint der gesamte Trainingsumfang die wichtigste Determinante für den Zugewinn an kardiovaskulärer Fitness zu sein. Die Autoren fanden in ihrer Studie mit übergewichtigen Patienten mit Fettstoffwechselstörungen umso größere Verbesserungen der VO_{2peak} , je größer der Trainingsumfang war. Drei Gruppen trainierten über 7 bis 9 Monate mit einer Trainingsintensität zwischen 40 und 80% der VO_{2peak} mit unterschiedlicher Trainingsdauer und -frequenz. Zwar stellte sich auch eine signifikante Verbesserung in der Gruppe mit dem geringsten Trainingsumfang im Vergleich zur Kontrollgruppe ein, der Unterschied zwischen den Interventionsgruppen fiel jedoch mit zunehmendem Trainingsumfang größer aus.

Die geringen Trainingseffekte der OpErgo-Studie scheinen somit überwiegend mit dem geringen Trainingsumfang begründbar zu sein. Dieses Ergebnis bestätigt, dass während der kurzen Phase II Rehabilitation die Bemühungen um ein mindestens 5 Mal wöchentliches Ergometertraining verstärkt werden müssen.

Die Hypothese, dass durch die metabolische Belastungssteuerung um 20% bessere Ergebnisse erzielt werden, konnte somit weder für die maximale Leistung in Watt noch für die maximale Sauerstoffaufnahme bestätigt werden. Keine der beiden Trainingsgruppen erzielte in der 3-wöchigen Rehabilitation eine Verbesserung in dieser Größenordnung.

4.2.4. Einfluss der Intervention auf Parameter des Belastungs-EKGs

4.2.4.1 Einfluss der Intervention auf die Laktatwerte

Die Laktatwerte der einzelnen Stufen des Belastungstests konnten in beiden Gruppen in Ruhe sowie bei 50, 75 und 100 Watt durch die Rehabilitation hoch signifikant zwischen 4,2% und 8,8% reduziert werden. Ein Unterschied zwischen den Gruppen zeigte sich bei keiner der beobachteten Belastungsstufen. Auf eine detaillierte Betrachtung der höheren Belastungsstufen wurde verzichtet, weil die Anzahl der vergleichbaren Datensätze exponentiell zur Belastungsdauer abnahm.

Die Studienteilnehmer von Bjarnason-Wehrens et al. (1999) konnten die Laktatwerte auf den Belastungsstufen von 0-100 Watt etwas mehr um durchschnittlich 4,9% bis 16,8% nach 4-wöchigem Training reduzieren. Lediglich bei der Ruhemessung konnte eine größere Reduktion der Laktatwerte in der vorliegenden Untersuchung erzielt werden. Dubach et al. (1995) untersuchten eine Gruppe mit 22 bypassoperierten Patienten, die bereits einen Monat nach der Bypass-Operation mit ihrem 4-wöchigen Training begann. Pro Tag wurden neben Gymnastikübungen zwei Walkingeinheiten für jeweils eine Stunde durchgeführt. Obwohl sich die maximale Leistung im Fahrradergometertest um 11,4% erhöhte, sank die maximal gemessene Laktatkonzentration von eingangs 4,26 mmol/l um 2,6% auf 4,15 mmol/l in der Kontrolluntersuchung ab. Die Reduktion der Laktatwerte bei einer höheren Wattleistung spricht deutlich für eine

Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Allerdings kann aufgrund eines fehlenden signifikanten Unterschieds zur Kontrollgruppe ohne Training nicht ausgeschlossen werden, dass es sich bei den Verbesserungen um einen Effekt der Spontanheilung handelte. Auch Wisløff et al. (2007) konnten in ihren Trainingsgruppen mit 18 stabilen Herzinsuffizienzpatienten nach Herzinfarkt ähnliche Ergebnisse aufzeigen. Nach 12-wöchigem Training konnten sowohl in der moderaten Ausdauertrainingsgruppe als auch in der intensiven Intervalltrainingsgruppe die maximalen Laktatwerte um 5,9% bzw. 3,2% gesenkt werden, obwohl zeitgleich die VO_{2peak} in diesen Gruppen um 14,6% bzw. 46% zunahm. Die Kontrollgruppe ohne Training dieser Studie wies jedoch beim Belastungstest nach 12 Wochen keine Veränderung der VO_{2peak} bzw. der Laktatkonzentration auf. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Intervalltrainingsgruppe und der Kontrollgruppe, der auf die Trainingsintervention zurückgeführt werden kann.

Aufgrund einer fehlenden Kontrollgruppe in der OpErgo-Studie kann die Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve nicht zwingend als Folge der Trainingsintervention betrachtet werden. Eine verbesserte metabolische Situation durch eine Ökonomisierung des Herz-Kreislaufsystems ist durch diese Ergebnisse hingegen bestätigt.

4.2.4.2 Einfluss der Intervention auf die Herzfrequenz

Durch die Intervention reduzierte sich die Herzfrequenz in Ruhe hoch signifikant im Vergleich zur Eingangsuntersuchung in der herzfrequenzbasierten Gruppe um 2,8% und in der laktatbasierten Gruppe um 4,4%. Auf allen Belastungsstufen von 25-100 Watt konnte eine Reduktion der Herzfrequenzwerte zwischen 3,4% und 4,4% erzielt werden. Bei keiner dieser Belastungsstufen zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen. Vergleichbare Ergebnisse erzielten Bjarnason-Wehrens et al. (1999) nach 4-wöchiger Intervention. Die Herzfrequenzwerte reduzierten sich hoch signifikant zwischen 3,9% und 5,0% auf den einzelnen Stufen des Belastungstests ($p < 0,001$). Die größte Reduktion wurde jedoch in Ruhe mit 5,6% erzielt. Tabelle 29 zeigt die interventionsbedingte Reduktion der Ruheherzfrequenz von zehn weiteren Studien. Hier wurde eine Senkung der Herzfrequenz in Ruhe zwischen den jeweiligen Untersuchungsterminen

um 3% bis 14% festgestellt. Bemerkenswert sind die Ergebnisse von Ferrand-Guillard et al. (2002), die nach 4-wöchiger Intervention einen Unterschied um fast 10 Prozentpunkte zwischen zwei Trainingsgruppen aufzeigen konnten, die sich lediglich in der Trainingsintensität unterschieden. Ein medikamentöser Einfluss kann in dieser Studie ausgeschlossen werden, da die Veränderung der Medikation ein Ausschlusskriterium darstellte.

Die Dauer der Intervention scheint beim Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit denen von Giallauria et al. (2008) und Hansen et al. (2008) eine untergeordnete Rolle zu spielen. Bei ähnlichen Trainingsintensitäten reduzierte sich die Ruheherzfrequenz um ein vergleichbares Niveau, unabhängig davon, ob 3, 7 oder 24 Wochen trainiert wurde. Einschränkend muss erwähnt werden, dass andere Studien keine Unterschiede der Ruheherzfrequenz in der Interventionsgruppe im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrollgruppe beschreiben (Gianuzzi et al. 1993, Sivarajan et al. 1983). Ein gewisser Spontanheilungseffekt ist aufgrund der fehlenden Kontrollgruppen der aufgeführten Studien daher nicht auszuschließen.

Eine Senkung der Herzfrequenz durch eine veränderte Medikation kann in der Mehrzahl der in Tabelle 29 aufgeführten Studien ausgeschlossen werden. Lediglich Hansen et al. (2008) und La Rovere et al. (2002) berichten von einer möglichen Anpassung der Medikation bzw. schließen diese nicht explizit aus.

Tab. 29: Trainingseffekte von Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten auf die Ruheherzfrequenz (¹=Ergometertraining, ²=und/oder Laufband, ³=und/oder Walking/Jogging, ⁴=Handergometer).

Erstautor Jahr	n	Alter	Intensität		Dauer in Wochen	Trainingseffekt
			VO _{2peak}	HF _{max}		Ruhe HF
Bott: HF-Gruppe ¹	138	51	70%	79%	3	- 2,8%
Bott: Laktat-Gruppe ¹	137	49	57%	71%	3	- 4,4%
Giallauria ¹ 2008	30	56	60-70%	--	24	- 3,5%
Hansen ^{1,2,4} 2008	134	63	65%	--	7	- 3%
Giallauria ¹ 2006	104	69	60%	--	12	- 6,8%
Ferrand-Guillard ^{1,2} 2002	13	54	--	85%	4	- 14%
Ferrand-Guillard ^{1,2} 2002	11	54	--	74%	4	- 4,3%
La Rovere ¹ 2002	49	51	--	75-95%	4	- 9,3%
Belardinelli ¹ 2001	59	53	60%	--	24	- 6,6%

Bjarnason-Wehrens ¹ 1999	262	54	bei 1,5 - 2,5 Laktat des B-EKGs		4	- 5,6%
Schuler ¹ 1992	56	53	--	75%	48	- 8%
Ehsani ^{1,3} 1986	25	52	60-90%	--	48	- 13%

4.2.4.3 Einfluss der Intervention auf den Blutdruck

Durch die Intervention konnte der systolische Blutdruck in Ruhe um 6,3% in der herzfrequenzbasierten Gruppe und in der laktatbasierten Gruppe um 6,0% hoch signifikant gesenkt werden ($p < 0,001$). Auf den Belastungsstufen von 25-100 Watt des Belastungstests reduzierte sich der systolische Blutdruck ebenfalls hoch signifikant um im Mittel 2,9% bis 9,0%. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen wurde nicht beobachtet. Eine vergleichbar hohe Reduktion des systolischen Blutdrucks in Ruhe berichten lediglich Kasch und Boyer (1969) in ihrer Studie mit 11 KHK-Patienten, die vier Mal wöchentlich für 45-60 min über einen Zeitraum von 24 Wochen ein Intervalltraining mit Intensitäten von 69-80% durchführten. Der systolische Blutdruck sank im Mittel um 6,7%. Einige der in Tabelle 30 aufgeführten Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten weisen kleinere Veränderungen des systolischen Ruheblutdrucks zwischen 1,6% und 4,7% durch die Trainingsintervention auf. In vier Studien konnte keine Veränderung zwischen den Untersuchungszeitpunkten festgestellt werden. Da auch Giallauria et al. (2008) und Belardinelli (2001) 24 Wochen nach Beginn einer Intervention von einer Blutdrucksenkung von 3,1% bzw. 4,7% berichten, können die vergleichbar hohen Werte der OpErgo-Studie nicht auf den kurzen Interventionszeitraum und den damit verbundenen kurzen Zeitraum zwischen Akutereignis und Erhebungszeitpunkt im Sinne einer kurzzeitigen Spontanheilung zurückgeführt werden.

Nahmen zu Beginn der vorliegenden Studie noch 75% der Patienten einen ACE-Hemmer, waren es zum Zeitpunkt der Ausgangsuntersuchung nur noch rund 71%. Die Gabe von Betarezeptorenblockern sowie von Kalziumantagonisten nahm während der Intervention leicht zu (von 96% auf 98% bzw. von 5% auf 11%). Diese Veränderung der Medikation erfolgte in beiden Trainingsgruppen in einem vergleichbaren Maße. Aufgrund der geringen Fallzahl der Patienten mit veränderter Medikation kann die

Reduktion des Ruheblutdrucks im berichteten Umfang nicht auf die leicht gestiegene Verordnungspraxis blutdrucksenkender Medikamente zurückgeführt werden.

Eine Ursache für die vergleichsweise hohe Blutdrucksenkung in der vorliegenden Studie könnte ggf. in der zusätzlichen interdisziplinären Betreuung der Patienten mit Entspannungseinheiten und bspw. Ernährungsberatungen zu finden sein. Allerdings erhielten die 262 Studienteilnehmer von Bjarnason-Wehrens et al. (1999) eine vergleichbare interdisziplinäre Betreuung während ihrer 4-wöchigen ambulanten Rehabilitation, der systolische Ruheblutdruck konnte jedoch im Mittel nur um 1,6% gesenkt werden.

Tab. 30: Trainingseffekte von Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten auf den systolischen Blutdruck (¹=Ergometertraining, ²=und/oder Laufband, ³=und/oder Walking/Jogging, ⁴=Handergometer).

Erstautor Jahr	n	Alter	Intensität		Dauer in Wochen	Trainingseffekte
			VO _{2peak}	HF _{max}		Ruhe RR _{sys}
Bott: HF-Gruppe ¹	138	51	70%	79%	3	- 6,3%
Bott: Laktat-Gruppe ¹	137	49	57%	71%	3	- 6,0%
Giallauria ¹ 2008	30	56	60-70%	--	24	- 3,1%
Hansen ^{1,2,4} 2008	134	63	65%	--	7	keine Veränderung
Giallauria ¹ 2006	104	69	60%	--	12	- 3,3%
La Rovere ¹ 2002	49	51	--	75-95%	4	keine Veränderung
Belardinelli ¹ 2001	59	53	60%	--	24	- 4,7%
Bjarnason-Wehrens ¹ 1999	262	54	bei 1,5 - 2,5 Laktat des B-EKGs		4	- 1,6%
Schuler ¹ 1992	56	53	--	75%	48	keine Veränderung
Ehsani ^{1,3} 1986	25	52	60-90%	--	48	keine Veränderung

Der diastolische Blutdruck konnte ebenfalls in beiden Gruppen hoch signifikant in Ruhe und auf allen verglichenen Stufen des Belastungstests um 3,5 bis 7,1% hoch signifikant reduziert werden. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant. Vergleichbare Ergebnisse zeigen wiederum Kasch und Boyer (1969) in ihrer Intervalltrainingsstudie. Die 11 KHK-Patienten reduzierten den diastolischen Ruheblutdruck im Mittel um 7% nach 6-monatigem Training.

Im Vergleich zu einer Metaanalyse von Taylor et al. (2004) mit 48 Studien und insgesamt 8940 Rehabilitationspatienten übersteigen die in der OpErgo-Studie erzielten Verbesserungen des systolischen und diastolischen Blutdrucks die dortigen Resultate. Im Mittel konnten diese Autoren eine Senkung des systolischen Blutdrucks um 3,2 mmHG dokumentieren, der diastolische Blutdruck blieb in diesen Studien unverändert.

4.2.4.4 Einfluss der Intervention auf das subjektive Belastungsempfinden

Auf allen Stufen des Belastungstests von 0-100 Watt nahm die Einschätzung des subjektiven Belastungsempfindens in beiden Gruppen hoch signifikant ab ($p < 0,001$). Bei 100 Watt reduzierte sich der Borg-Skala-Wert in der herzfrequenzbasierten Gruppe um 8,1% von im Mittel 14,8 auf 13,6. In der laktatbasierten Gruppe fiel die Reduktion um 4,8% von 14,7 auf 14 etwas geringer aus. Der Unterschied zwischen den Gruppen war bei keiner Belastungsstufe signifikant. Eine relative Verbesserung der Borg-Skala-Werte konnten auch Eder et al. (2010) nachweisen. In einer kardiologischen Rehabilitation mit im Durchschnitt 73 Jahre alten Patienten nahm nach 4-wöchigem Training die maximale Leistung in Watt um 62% zu, während der maximal ermittelte Wert der Borg-Skala lediglich um 4,1% von 14,6 auf 15,2 anstieg.

Aufgrund der subjektiven Einschätzung der Borg-Skala-Werte eignet sich dieses Verfahren nicht zur objektiven Messung von Trainingseffekten. Da das Anstrengungsempfinden linear mit der Trainingsintensität zunimmt, konnten mehrere Studien die Reliabilität dieser Methode zur Intensitätseinschätzung und -beschreibung auch bei KHK-Patienten belegen (Carvalho & Mezzani 2011, Borg 1998, Dunbar et al. 1992, Eston & Williams 1988, Noble et al. 1983, Purvis & Cureton 1981). Daher empfehlen Bjarnason-Wehrens und Halle (2011), die Borg-Skala in der kardiologischen Rehabilitation bei der Regulierung der Trainingsintensität ergänzend zu den anderen Verfahren und zur Ausbildung eines Körperbewusstseins für die Trainingsbelastung der Patienten einzusetzen.

4.3. Fazit

Die in der internationalen Literatur beschriebenen Studien und Ergebnisse liefern kein eindeutiges Bild zur Trainingssteuerung in der kardiologischen Rehabilitation. Die Empfehlungen zur Trainingsintensität orientieren sich an verschiedenen Parametern und weisen darüber hinaus eine große Bandbreite derselben auf (Bjarnason-Wehrens & Halle 2011, Piepoli et al. 2010, ACSM 2010, Bjarnason-Wehrens et al. 2009, Lavie et al. 2009, Hofmann et al. 2009, Dendale et al. 2008, Benzer 2008, Wonisch et al. 2008, Piotrowicz & Wolszakiewicz 2008, Balady et al. 2007, Casillas et al. 2007). Wichtigste Determinante zur Erreichung größtmöglicher Trainingseffekte scheint der Trainingsumfang der Intervention insgesamt zu sein (Savage et al. 2009, Rognmo et al. 2004, Hevey et al. 2003, Adachi et al. 1996, Brubaker et al. 1996, Jensen et al. 1996).

Die höchste Effizienz scheint bei einer Trainingsdauer von 30-40 Minuten je Einheit erzielbar zu sein (Hansen et al. 2008, Huang et al. 2005, Lemura et al. 2000).

Höhere Trainingsintensitäten scheinen größere Trainingseffekte hervorzurufen (Savage et al. 2009, Rognmo et al. 2004, Bitzer et al. 2002, Adachi et al. 1996, Jensen et al. 1996). Sie sind jedoch nur dann empfehlenswert, wenn sie vom Patienten gut toleriert werden und keine Überbelastung provozieren (Wisløff et al. 2009, Nieuwland et al. 2002, Coplan et al. 1986).

Um eine Gefährdung der Patienten durch hohe Trainingsintensitäten auszuschließen, kann der Trainingsumfang über die Trainingshäufigkeit sowie die Interventionsdauer erhöht werden. Mehrfach tägliches Training und eine Intervention über mehrere Wochen bzw. Monate zeigen die größten Trainingseffekte (Giallauria et al. 2008, Hevey et al. 2003, Belardinelli et al. 2001, Tygesen et al. 2001, Nieuwland et al. 2000, Brubaker et al. 1996, Jensen et al. 1996, Dressendorfer et al. 1995).

Für den vorgegebenen Rahmen der kardiologischen Rehabilitation in Deutschland kann aus den vorliegenden Ergebnissen geschlossen werden: Zur Erzielung eines größtmöglichen Trainingsumfangs in der meist 3-wöchigen kardiologischen Rehabilitation sollte das Ausdauertraining für

mindestens 30 Minuten je Einheit und so häufig wie möglich durchgeführt werden. Eine Steigerung der Trainingshäufigkeit ist durch ein Training auch an den Wochenenden oder ein mehrfach tägliches Training zu erreichen. Erst nach einer erhöhten Trainingsdauer und Trainingshäufigkeit sollte zur weiteren Effizienzsteigerung die Festlegung der individuellen Trainingsintensität verstärkt in den Fokus der Betrachtung rücken. Da die Vielzahl und Bandbreite der existierenden Methoden zur Bestimmung der Trainingsintensität zu unterschiedlich hohen Trainingsbelastungen führen, könnte zur Vermeidung einer kardialen Gefährdung der Patienten die metabolische Belastung während des Ausdauertrainings mittels Laktatmessung überprüft werden.

Eine langfristige Fortführung des Trainings nach der Rehabilitation bspw. in ambulanten Herzsportgruppen könnte die erzielten Verbesserungen sichern und weiter erhöhen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war es, zwei unterschiedliche Verfahren zur Festlegung der Trainingsintensität für das Ergometertraining in der kardiologischen Rehabilitation miteinander zu vergleichen.

In die Untersuchung wurden 285 Patienten der Rehabilitationsklinik Roderbirken, Leichlingen, eingeschlossen. Bei allen Patienten wurde eine angiographisch nachgewiesene koronare Herzerkrankung diagnostiziert. Das mittlere Lebensalter betrug $49,7 \pm 7,5$ Jahre, der Frauenanteil lag bei 12 Prozent. Insgesamt 275 Studienteilnehmer beendeten die Intervention planmäßig.

Sämtliche Probanden unterzogen sich einer spiroergometrischen Eingangsuntersuchung mit Laktatmessung. Es wurden folgende Parameter registriert: O_2 -Aufnahme, CO_2 -Abgabe, respiratorischer Quotient, Herzfrequenz, Blutdruck, Laktat und subjektives Belastungsempfinden.

Die Studienteilnehmer wurden nach Geschlecht stratifiziert in zwei Trainingsgruppen randomisiert. Die herzfrequenzbasierte Gruppe trainierte angelehnt an den Empfehlungen der American Heart Association bei 60% der Herzfrequenzreserve (Fletcher et al. 2001), die laktatbasierte Gruppe bei 60% der Belastung, die im Stufentest mit einem Laktatwert von 3 mmol/l verbunden war. Angestrebt wurde ein Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer 5 Mal pro Woche mit einer Zeitspanne von etwa 30 min. Die Gesamtdauer der Rehabilitation belief sich auf 3 Wochen. Das Ergometertraining wurde im Mittel an $10,7 \pm 1,1$ Tagen mit einer mittleren Trainingsdauer von $21,5 \pm 1,5$ min absolviert. Der Trainingsumfang wurde über die individuell angepasste Trainingsdauer je Einheit in beiden Gruppen gleich groß gehalten.

Die beiden verglichenen Verfahren zur Festlegung der Trainingsintensität führten bei allen betrachteten Parametern zu hoch signifikant höheren Intensitäten nach der herzfrequenzbasierten Vorgehensweise ($p < 0,001$). So lag die Trainingsbelastung in Watt in der herzfrequenzbasierten Gruppe um 44% höher als in der laktatbasierten Gruppe, die empfohlene Trainingsherzfrequenz fiel um 12% höher aus. Dieser Unterschied spiegelte sich auch in

einer deutlich höheren metabolischen Belastung der herzfrequenzbasierten Gruppe wider. Die ausgesprochenen Trainingsempfehlungen entsprachen in dieser Gruppe im Mittel Laktatwerten von im Belastungstest erhobenen $2,6 \pm 0,8$ mmol/l. Die Einzellaktatwerte dieser Gruppe erstrecken sich bei der empfohlenen Trainingsbelastung über eine Bandbreite von 1,2 mmol/l bis 5,4 mmol/l.

Bei der Leistung und der Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten von 2,5 und 3,0 mmol/l zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Trainingsgruppen. Die Leistung konnte in beiden Gruppen bei allen definierten Laktatwerten zwischen 5,1% und 10,1% hoch signifikant verbessert werden ($p < 0,001$).

Die maximale Leistung in Watt erhöhte sich in beiden Gruppen um 3,8% bzw. 5,6% hoch signifikant ($p < 0,001$). Auch die sonstigen Parameter des Stufentests wie die Sauerstoffaufnahme, Laktat, Herzfrequenz, Blutdruck und subjektives Belastungsempfinden verbesserten sich in beiden Gruppen. Ein Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen mit differierenden Intensitäten zeigte sich jedoch nicht.

Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Trainingsintensität des Fahrradergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation bei einer Trainingshäufigkeit von im Mittel 11 Trainingstagen eine untergeordnete Rolle spielt. Vergleichbare Verbesserungen sind sowohl mit moderaten als auch mit intensiven Intensitäten zu erwarten.

Beide Methoden zur Festlegung der Trainingsintensität scheinen für die kardiologische Rehabilitation geeignet zu sein. Die karvonenformelbasierte Berechnung kann allerdings vereinzelt zu einer für KHK-Patienten möglicherweise gefährlich hohen metabolischen Belastung führen. Mittels Laktatdiagnostik könnte diese objektiviert sowie motivationsunabhängige Trainingserfolge analysiert werden.

Zur Effizienzsteigerung des Ergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation sollte daher bei einer Interventionsdauer von 3 Wochen der primäre Fokus auf einer Steigerung der Trainingshäufigkeit und der jeweiligen Trainingsdauer liegen.

6. Literaturverzeichnis

- Aamot I-I, Moholdt T, Amundsen BH, Solberg HS, Mørkved S, Støylen A.** Onset of exercise training 14 days after uncomplicated myocardial infarction: a randomized controlled trial. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2010;17(4):387-392.
- Adachi H, Koike A, Obayashi T, Umezawa S, Aonuma K, Inada M, Korenaga M, Niwa A, Marumo F, Hiroe M.** Does appropriate endurance exercise training improve cardiac function in patients with prior myocardial infarction? *Eur Heart J* 1996;17(10):1511-1521.
- Ades PA.** Cardiac rehabilitation and secondary prevention of coronary heart disease. *N Engl J Med* 2001;345(12):892-902.
- Ades PA, Savage PD, Brawner CA, Lyon CE, Ehrman JK, Bunn JY, Keteyian SJ.** Aerobic capacity in patients entering cardiac rehabilitation. *Circulation* 2006;113(23):2706-2712.
- Albouaini K, Egred M, Alahmar A, Wright DJ.** Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Heart* 2007;93(10):1285-1292.
- American College of Sports Medicine.** *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (8th ed.). 2010, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Arena R, Myers J, Aslam SS, Varughese EB, Peberdy MA.** Peak VO₂ and VE/VCO₂ slope in patients with heart failure: a prognostic comparison. *Am Heart J* 2004;147(2):354-360.
- Bäck M, Wennerblom B, Wittbold S, Cider A.** Effects of high frequency exercise in patients before and after elective percutaneous coronary interventions. *Eur J Cardiovasc Nurs* 2008;7(4):307-313.
- Balady GJ, Williams MA, Ades PA, Bittner V, Comoss P, Foody JAM, Franklin B, Sanderson B, Southard D.** Core components of cardiac rehabilitation/ secondary prevention programs: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee, the Council on Clinical Cardiology; the Councils on Cardiovascular Nursing, Epidemiology and Prevention, and Nutrition, Physical Activity, and

Metabolism; and the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. *Circulation* 2007;115(20):2675-2682.

Bellardinelli R, Paolini I, Cianci G, Piva R, Georgiou D, Purcaro A.

Exercise training intervention after coronary angioplasty: the ETICA trial. *J Am Coll Cardiol* 2001;37(7):1891-1900.

Belman MJ, Gaesser GA. Exercise training below and above the lactate threshold in the elderly. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23(5):562-268.

Benzer W. Guidelines für die ambulante kardiologische Rehabilitation und Prävention in Österreich – Update 2008. *J Kardiol* 2008;9/10:298-309.

Berkhuysen MA, Nieuwland W, Buunk BP, Sanderma R, Viersma JW, Rispen P. Effect of high – versus low-frequency exercise training in multidisciplinary cardiac rehabilitation on health-related quality of life. *J Cardiopulm Rehabil* 1999;19(1):22-28.

Bircher S, Knechtle B, Knecht H. Is the intensity of the highest fat oxidation at the lactate concentration of 2 mmol L⁻¹? A comparison of two different exercise protocols. *Eur J Clin Invest* 2005;35(8):491-498.

Bitzer EM, Aster-Schenck I-U, Klosterhuis H, Dörning H, Rose S.

Entwicklung einer evidenzbasierten Leitlinie zur kardiologischen Rehabilitation – Phase 1: Bewertende Literaturanalyse. *Rehabilitation* 2002;41(4):226-236.

Bjarnason-Wehrens B, Predel H-G, Graf C, Günther D, Rost R. Änderung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch ein vierwöchiges kardiales Rehabilitationsprogramm der Phase 2. *Z Kardiol* 1999;88(2):113-122.

Bjarnason-Wehrens B. Trainingsformen und ihre Anwendungen. In Rauch B, Middeke M, Bönner G, Karoff M, Held K (Hrsg.), *Kardiologische Rehabilitation* (78-89). 2007, Stuttgart, New York: Thieme.

Bjarnason-Wehrens B, Held K, Hoberg E, Karoff M, Rauch B. Deutsche Leitlinie zur Rehabilitation von Patienten mit Herz-Kreislaufkrankungen (DLL-KardReha). *Clin Res Cardiol* 2007;Suppl 2(3):1-54.

Bjarnason-Wehrens B, Schulz O, Gielen S, Halle M, Dürsch M, Hambrecht R, Lowis H, Kindermann W, Schulze R, Rauch B. Leitlinie körperliche Aktivität zur Sekundärprävention und Therapie

kardiovaskulärer Erkrankungen. *Clin Res Cardiol* 2009;Suppl. 3(4):1-44.

Bjarnason-Wehrens B, Halle M. Exercise Training in cardiac rehabilitation. In Niebauer J (Hrsg.), *Cardiac rehabilitation manual* (89-120). 2011, London, Dordrecht, Heidelberg, New York: Springer.

Blumenthal JA, Rejeski WJ, Walsh-Riddle M, Emery CF, Miller H, Roark S, Ribisl PM, Morris PB, Brubaker P, Williams RS. Comparison of high- and low-intensity exercise training early after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1988;61(1):26-30.

Borg G, Noble BJ. Perceived Exertion. In Wilmore JH (Hrsg.), *Exercise and Sport Sciences Reviews* (Volume 2, 131-153). 1974, New York, London: Academic Press.

Borg G. *Borg's perceived exertion and pain scales*. 1998, Champaign: Human Kinetics.

Bös K, Hänsel F, Schott N. *Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft* (1. Aufl.). 2000, Hamburg: Czwalina.

Braverman DL. Cardiac Rehabilitation. A contemporary review. *Am J Phys Med Rehabil* 2011;90(7):599-611.

Breuer HWM. Spiroergometrie – Vorschläge zur Standardisierung und Interpretation. *Pneumologie* 2004;58:553-565.

Brubaker PH, Warner JG Jr, Rejeski WJ, Edward DG, Matrazzo BA, Ribisl PM, Miller HS, Herrington DM. Comparison of standard-and extended-length participation in cardiac rehabilitation on body composition, functional capacity, and blood lipids. *Am J Cardiol* 1996;78(7):769-773.

Bühl A, Zöfel, P. *Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows* (9. Aufl.). 2002, München: Pearson Studium.

Bundesministerium der Justiz. *Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V)*. Zugriff 2011 am 20.10.2011 unter www.gesetze-im-internet.de/sgb_5/.

Buono MJ, Yeager JE. Intraerythrocyte and plasma lactate concentrations during exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 1986;55(3):326-329.

Carvalho VO, Mezzani A. Aerobic exercise training intensity in patients with chronic heart failure: principles of assessment and prescription. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2011;18(1):5-14.

- Casillas JM, Gremeaux V, Damak S, Feki A, Pérennou D.** Exercise training for patients with cardiovascular disease. *Ann Readapt Med Phys* 2007;50(6):403-418.
- Clark AM, Hartling L, Vandermeer B, McAlister A.** Meta-analysis: secondary prevention programs for patients with coronary artery disease. *Ann Intern Med.* 2005;143(9):659-672.
- Coplan NL, Gleim GW, Nicholas JA.** Using exercise respiratory measurements to compare methods of exercise prescription. *Am J Cardiol* 1986;58(9):832-836.
- Cucherat M.** Quantitative relationship between resting heart rate reduction and magnitude of clinical benefits in post-myocardial infarction: a meta-regression of randomized clinical trials. *Eur Heart J* 2007;28(24):3012-3019.
- Davison RC, Coleman D, Balmer J, Nunn M, Theakston S, Burrows M, Bird S.** Assessment of blood lactate: practical evaluation of the Biosen 5030 lactate analyzer. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(1):243-247.
- De Baker G, Ambrosioni E, Borch-Johnsen K, Brotons C, Cifkova R, Dallongeville J, Ebrahim S, Faergeman O, Graham I, Mancina G, Manger Cats V, Orth-Gomér K, Perk J, Pyörälä K, Rodicio JL, Sans S, Sansoy V, Sechtem U, Silber S, Thomson T, Wood D.** European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. Third joint task force of European and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of eight societies and by invited experts). *Eur Heart J* 2003;24(17):1601-10.
- Dendale P, Dereppe H, De Sutter J, Laruelle C, Vaes J, Lamotte M, Deroeck A, Mallefroy M, Heyndrickx B, Berger J, Kostucki W, Fortuin A, Hansen D, Brohet C, Vanhees L.** Position paper of the Belgian Working Group on Cardiovascular Prevention and Rehabilitation: cardiovascular rehabilitation. *Acta Cardiol* 2008;63(6):673-681.
- Deutsche Rentenversicherung.** Statistikband Rehabilitation 2009. Zugriff 2011 am 31.07.2011 unter: http://www.deutsche-rentenversicherung.de/SharedDocs/de/Inhalt/04_Formulare_Publikatio

nen/03_publicationen/Statistiken/Statistik_Baende/statistikband_reha_2009_pdf.html?nn=39026.

- Dickhuth HH, Yin L, Niess A, Röcker K, Mayer F, Heitkamp HC, Horstmann T.** Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int J Sports Med* 1999;20(2):122-127.
- Dickstein K, Barvik S, Aarsland T, Snapinn S, Millerhagen J.** Validation of a computerized technique for detection of the gas exchange anaerobic threshold in cardiac patients. *Am J Cardiol* 1990;66(19):1363-1367.
- Dietz R, Rauch B.** Guidelines for diagnosis and treatment of chronic coronary heart disease. Issued by the executive committee of the German Society of Cardiology - Heart Circulation Research in cooperation with the German Society for Prevention and Rehabilitation of Cardiac Diseases and the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery. *Z Kardiol* 2003;92(6):501-521.
- Dressendorfer RH, Franklin BA, Cameron JL, Trahan KJ, Gordon S, Timmis GC.** Exercise training frequency in early post-infarction cardiac rehabilitation. Influence on aerobic conditioning. *J Cardiopulm Rehabil* 1995;15(4):269-276.
- Dubach P, Myers J, Dziekan G, Goerre S, Buser P, Laske A.** Effect of residential cardiac rehabilitation following bypass surgery. Observations in Switzerland. *Chest* 1995;108(5):1434-1439.
- Dunbar CC, Robertson RJ, Baun R, Blandin MF, Metz K, Burdett R, Goss FL.** The validity of regulating exercise intensity by ratings of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24(1):94-99.
- Duscha BD, Slentz CA, Johnson JL, Houmard JA, Bensimhon DR, Knetzger KJ, Kraus WE.** Effects of exercise training amount and intensity on peak oxygen consumption in middle-age men and women at risk for cardiovascular disease. *Chest* 2005;128(4):2788-2793.
- Dwyer J.** Metabolic character of exercise at traditional training intensities in cardiac patients and healthy persons. *J Cardiopulm Rehabil* 1994;14(3):189-196.
- Eder B, Hofmann P, von Duvillard SP, Brandt D, Schmid J-P, Pokan R,**

- Wonisch M.** Early 4-week cardiac rehabilitation exercise training in elderly patients after heart surgery. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2010;30(2):85-92.
- Ehsani AA, Biello DR, Schultz J, Sobel BE, Holloszy JO.** Improvement of left ventricular contractile function by exercise training in patients with coronary artery disease. *Circulation* 1986;74(2):350-358.
- Eston RG, Williams JG.** Reliability of ratings of perceived effort regulation of exercise intensity. *Br J Sport Med* 1988;22(4):153-155.
- Farsidfard F, Kasikcioglu E, Oflaz H, Kasikcioglu D, Meric M, Umman S.** Effects of different intensities of acute exercise on flow-mediated dilatation in patients with coronary heart disease. *Int J Cardiol* 2008;124(3):372-374.
- Faude O, Meyer T.** Methodische Aspekte der Laktatbestimmung. *Dt. Z Sportmed* 2008;12:305-309.
- Ferrand-Guillard C, Ledermann B, Kotzki N, Benaim C, Givron P, Messner-Pellence P, Pelissier J.** Is it necessary to rehabilitate coronary artery disease patients based on ventilatory threshold? *Ann Readapt Med Phys* 2002;45(5):204-15.
- Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, Eckel R, Fleg J, Froelicher VF, Leon AS, Pina IL, Rodney R, Simons-Morton DG, Williams MA, Bazzarre T.** Exercise Standards for Testing and Training: A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association. *Circulation* 2001;104(4):1694-1740.
- Franco V.** Cardiopulmonary exercise test in chronic heart failure: beyond peak oxygen consumption. *Curr Heart Fail Rep* 2011;8(1):45-50.
- Franklin BA.** How much exercise is enough for the coronary patient? *Prev Cardiol* 2000;3(2):63-70.
- Froelicher V, Sullivan M, Myers J, Jensen D.** Can patients with coronary artery disease receiving beta blockers obtain a training effect? *Am J Cardiol* 1985;55(10):155D-161D.
- Giallauria F, Lucci R, Pietrosante M, Gargiulo G, De Lorenzo A, D'Agostino M, Gerundo G, Abete P, Rengo F, Vigorito C.** Exercise-based cardiac rehabilitation improves heart rate recovery in elderly

patients after acute myocardial infarction. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2006;61(7):713-717.

Giallauria F, Cirillo P, Lucci R, Pacileo M, De Lorenzo A, D'Agostino M, Moschella S, Psaroudaki M, Del Forno D, Orio F, Vitale DF, Chiariello M, Vigorito C. Left ventricular remodelling in patients with moderate systolic dysfunction after myocardial infarction: favourable effects of exercise training and predictive role of N-terminal pro-brain natriuretic peptide. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2008;15(1):113-118.

Giannuzzi P, Tavazzi L, Temporelli PL, Corrà U, Imparato A, Gattone M, Giordano A, Sala L, Schweiger C, Malinverni C. Long-term physical training and left ventricular remodeling after anterior myocardial infarction: results of the Exercise in Anterior Myocardial Infarction (EAMI) trial. EAMI Study Group. *J Am Coll Cardiol* 1993;22(7):1821-1829.

Gibbons RJ, Abrams J, Chatterjee K, Daley J, Deedwania PC, Douglas JS, Ferguson TB, Fihn SD, Fraker TD, Gardin JM, O'Rourke RA, Pasternak RC, Williams SV, Alpert JS, Antman EM, Hiratzka LF, Fuster V, Faxon DP, Gregoratos G, Jakobs AK, Smith SC. ACC / AHA 2002 guideline update for the management of patients with chronic stable angina – summary article: a report of the American College of Cardiology / American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on the Management of Patients With Chronic Stable Angina). *Circulation* 2003;107(1):149-158.

Glasser SP, Howard G. Clinical trial design issues: at least 10 things you should look for in clinical trials. *J Clin Pharmacol* 2006;46(10):1106-1115.

Gohlke H, Schuler G. Recommendations for prevention and evidenced-based medicine. *Z Kardiol* 2005;94(Suppl 3):III/1-5.

Goldberg PD. *Manual of the General Health Questionnaire*. 1978, Windsor: NFER Publishing.

Graham I, Atar AE, Borch-Johnsen K, Boysen G, Burell G, Cifkova R, Dallongeville J, De Backer G, Ebrahim S, Gjelsvik B, Herrmann-Lingen C, Hoes A, Humphries S, Knapton M, Perk J, Priori SG, Pyorala K, Reiner Z, Ruilope L, Sans-Menendez S, OP Reimer WS,

- Weissberg P, Wood D, Yarnell J, Zamorano JL, Walma E, Fitzgerald T, Cooney MT, Dudina A, Vahanian A, Camm J, De Caterina R, Dean V, Dickstein K, Funck-Brentano C, Filippatos G, Hellemans I, Kristensen SD, McGregor K, Sechtem U, Silber S, Tendera M, Widimsky P, Altiner A, Bonora E, Durrington PN, Fagard R, Giampaoli S, Hemingway H, Hakansson J, Kjeldsen SE, Larsen ML, Mancina G, Manolis AJ, Orth-Gomer K, Perdersen T, Rayner M, Ryden L, Sammut M, Schneidermann N, Stalenhoef AF, Tokgözoğlu L, Wiklund O, Zampelas A.** European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: executive summary. Fourth joint task force of the european society of cardiology and other cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of nine societies and by invited experts). *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2007;14(Suppl 2):E1-40.
- Guazzi M, Myers J, Arena R.** Optimizing the clinical application of cardiopulmonary exercise testing in patients with heart failure. *Int J Cardiol* 2009;137(1):e18-22.
- Halle M, Berg A, Hasenfuss G.** Sekundärprävention der koronaren Herzerkrankung: Körperliches Training als Therapiepfeiler. *Dtsch Arztebl* 2003;100(41):A2650-A2656.
- Hambrecht R, Walther C, Möbius-Winkler S, Gielen S, Linke A, Conradi K, Erbs S, Kluge R, Kendziorra K, Sabri O, Sick P, Schuler G.** Percutaneous coronary angioplasty compared with exercise training in patients with stable coronary artery disease. *Circulation* 2004;109(11):1371-1378.
- Hansen D, Dendale P, Berger J, Meeusen R.** Rehabilitation in cardiac patients. *Sports Med* 2005;35 (12):1063-1084.
- Hansen D, Dendale P, Berger J, Meeusen R.** Low agreement of ventilatory threshold between training modes in cardiac patients. *Eur J Appl Physiol* 2007;101(5):547-554.
- Hansen D, Dendale P, Berger J, Onkelinx S, Reyckers I, Hermans A, Vaes J, Reenaers V, Meeusen R.** Importance of exercise training session duration in the rehabilitation of coronary artery disease patients. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2008;15(4):453-459.

- Heck H, Hess G, Mader A (a).** Vergleichende Untersuchung zu verschiedenen Laktat-Schwellenkonzepten. *Dtsch Z Sportmed* 1985;36:19-25,40-52.
- Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W (b).** Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985;6(3):117-130.
- Heck H.** *Laktat in der Leistungsdiagnostik*. 1990, Schorndorf: Hofmann.
- Heck H, Beneke R.** 30 Jahre Laktatschwellen – was bleibt zu tun? *Dtsch Z Sportmed* 2008;59(12):297-302.
- Heitkamp HC, Hipp A.** Laktat in der kardialen Rehabilitation. *Herz* 2001;26(7):447-453.
- Held K, Ritter R.** Altersstruktur in der kardiologischen Rehabilitation. *Herz* 2003;20(3):160-163.
- Heran BS, Chen JM, Ebrahim S, Moxham T, Oldridge N, Rees K, Thomson DR, Taylor RS.** Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease. *Cochrane Database Syst Rev* 2011;6(7):CD001800.
- Hevey D, Brown A, Cahill A, Newton H, Kierns M, Horgan JH.** Four-week multidisciplinary cardiac rehabilitation produces similar improvements in exercise capacity and quality of life to a 10-week program. *J Cardiopulm Rehabil* 2003;23(1):17-21.
- Hofmann P, Tschakert G, Wonisch M, Pokan R.** Ausdauertraining bei PatientInnen mit kardiologischen Erkrankungen. *J Kardiol* 2009;16(9-10):333-336.
- Hollmann W.** 42 years ago – development of the concepts of ventilatory and lactate threshold. *Sports Med* 2001;31(5):315-320.
- Huang G, Gibson CA, Tran ZV, Osness WH.** Controlled endurance training and VO_{2max} changes in older adults: a meta-analysis. *Prev Cardiol* 2005;8(4):217-225.
- Hung J, Gordon EP, Houston N, Haskell WL, Goris ML, DeBusk RF.** Changes in rest and exercise myocardial perfusion and left ventricular function 3 to 26 weeks after clinically uncomplicated acute myocardial infarction: effects of exercise training. *Am J Cardiol* 1984;54(8):943-950.

Jensen BE, Fletcher BJ, Rupp JC, Fletcher GF, Lee JY, Oberman A.

Trainings level comparison study: effect of high and low intensity exercise on ventilatory threshold in men with coronary artery disease. *J Cardiopulm Rehabil* 1996;16(4):227-232.

Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* 1957;35(3):307-315.

Kasch FW, Boyer JL. Changes in maximum work capacity resulting from six months training in patients with ischemic heart disease. *Med Sci Sports* 1969;1(3):156-159.

Kavanagh T, Mertens DJ, Hamm LF, Beyene J, Kennedy J, Corey P, Shephard RJ. Prediction of long-term prognosis in 12 169 men referred for cardiac rehabilitation. *Circulation* 2002;106(6):666-671.

Kavanagh T, Mertens DJ, Hamm LF, Beyene J, Kennedy J, Corey P, Shephard RJ. Peak oxygen intake and cardiac mortality in women referred for cardiac rehabilitation. *J Am Coll Cardiol* 2003;42(12):2139-43.

Keteyian SJ, Brawner CA, Savage PD, Ehrman JK, Schairer J, Divine G, Aldred H, Ophaug K, Ades PA. Peak aerobic capacity predicts prognosis in patients with coronary heart disease. *Am Heart J* 2008;156(2):292-300.

Komaroff E, DeLisa JA. Best research evidence for physical medicine and rehabilitation. *J Spinal Cord Med* 2009;32(1):3-5.

Korsukéwitz C, Rohwetter M, Rauch B. Ziele und Aufgaben der Rehabilitation. In Rauch B, Middeke M, Bönner G, Karoff M, Held K (Hrsg.), *Kardiologische Rehabilitation* (11-13). 2007, Stuttgart, New York: Thieme.

Kullmer T, Kindermann W, Singer M. Effects on physical performance of intrinsic sympathomimetic activity (ISA) during selective beta 1-blockade. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987;56(3):292-298.

La Rovere MT, Bersano C, Gnemmi M, Specchia G, Schwartz PJ. Exercise-induced increase in baroreflex sensitivity predicts improved prognosis after myocardial infarction. *Circulation* 2002;106(8):945-949.

Lavie CJ, Thomas RJ, Squires RW, Allison T, Milani RV. Exercise training

and cardiac rehabilitation in primary and secondary prevention of coronary heart disease. *Mayo Clin Proc* 2009;84(4):373-383.

Lemura LM, von Duvillard SP, Mookerjee S. The effects of physical training on functional capacity in adults. Ages 46 to 90: a meta-analysis. *J Sports Med Phys Fitness* 2000;40(1):1-10.

Leon AS. Exercise following myocardial infarction. Current recommendations. *Sports Med* 2000;29(5):301-311.

Leon AS, Franklin BA, Costa F, Balady GJ, Berra KA, Stewart KJ, Thompson PD, Williams MA, Lauer MS. Cardiac rehabilitation and secondary prevention of coronary heart disease: an American Heart Association scientific statement from the Council on Clinical Cardiology (Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation and Prevention) and the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism (Subcommittee on Physical Activity), in collaboration with the American association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. *Circulation* 2005;111(3):369-376.

Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi H, Rost R, Schürch P, Hollmann W. Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt Sportmed* 1976;27(4+5):80-88,109-112.

McCartney, N, Oldridge NB, Hicks A, Jones NL. Maximal isokinetic cycle ergometry in patients with coronary artery disease. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21(3):313-318.

Meyer K, Weidemann H. Die Bedeutung von fixer anaerober Schwelle, Trainingslaktat und Trainingsherzfrequenz für ein Fahrradergometer-training mit Herzinfarktpatienten. *Z Kardiol* 1985;74:466-474.

Meyer T, Auracher M, Heeg K, Urhausen A, Kindermann W. Effectiveness of low-intensity endurance training. *Int J Sports Med* 2007;28(1):33-39.

Mezzani A, Agostoni P, Cohen-Solal A, Corrà U, Jegier A, Koudi E, Mazic S, Meurin P, Piepoli M, Simon A, Van Laethem C, Vanhees L. 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. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2009;16(3):249-267.

- Milani RV, Lavie CJ, Mehra MR, Ventura HO.** Understanding the basics of cardiopulmonary exercise testing. *Mayo Clin Proc* 2006;81(12):1603-1611.
- Mittlböck M.** Critical appraisal of randomized clinical trials: can we have faith in the conclusions? *Breast Care* 2008;3(5):341-346.
- Myers J, Froelicher VF.** Exercise testing: procedures and implementation. *Cardiol Clin* 1993;11(2):199-213.
- Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE.** Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med* 2002;346(11):793-801.
- Niebauer J.** Preface. In Niebauer J (Hrsg.), *Cardiac rehabilitation manual* (V-VII). 2011, London, Dordrecht, Heidelberg, New York: Springer.
- Niederseer D, Niebauer J.** Körperliches Training als integraler Bestandteil der Leitlinien-basierten Therapie der koronaren Herzkrankheit. *J Kardiologie* 2009;16(9-10):327-332.
- Nieuwland W, Berkhuisen MA, van Veldhuisen DJ, Brügemann J, Landsman MLJ, van Sonderen E, Lie KI, Crijns HJGM, Rispens P.** Differential effects of high-frequency versus low-frequency exercise training in rehabilitation of patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2000;36(1):202-207.
- Nieuwland W, Berkhuisen MA, van Veldhuisen DJ, Rispens P.** Individual assessment of intensity-level for exercise training in patients with coronary artery disease is necessary. *Int J Cardiol* 2002;84(1):15-20.
- Noble BJ, Borg G, Jacobs I, Ceci R, Kaiser P.** A category-ratio perceived exertion scale: relation to blood and muscle lactate and heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 1983;15(6):523-528.
- Oldridge NB, McCartney N, Hicks A, Jones NL.** Improvement in maximal isokinetic cycle ergometry with cardiac rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21(3):308-312.
- Piepoli MF, Corrà U, Benzer W, Bjarnason-Wehrens B, Dendale P, Gaita D, McGee H, Mendes M, Niebauer J, Olsen Zwisler AD, Schmid JP.** Secondary prevention through cardiac rehabilitation: from knowledge to implementation. A position paper from the Cardiac Rehabilitation

Section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2010;17(1):1-17.

Piotrowicz R, Wolszakiewicz J. Cardiac rehabilitation following myocardial infarction. *Cardiol J* 2008;15(5):481-487.

Plüss CE, Billing E, Held C, Henriksson P, Kiessling A, Karlsson MR, Wallen HN. Long-term effects of an expanded cardiac rehabilitation programme after myocardial infarction or coronary artery bypass surgery: a five-year follow-up of a randomized controlled study. *Clin Rehabil* 2011;25(1):79-87.

Purvis JW, Cureton KJ. Rating of perceived exertion at the anaerobic threshold. *Ergonomics* 1981;24(4):295-300.

Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG. *Human Body Composition*. 1996, Champaign: Human Kinetics.

Röcker K, Dickhuth HH. Praxis der Laktatmessung. *Dtsch Z Sportmed* 2001;52(1):33-34.

Rognmo Ø, Hetland E, Helgerud J, Hoff J, Slørdahl SA. High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2004;11(3):216-222.

Sachs L. *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden*. 1992, Berlin: Springer.

Savage PD, Antkowiak ME, Ades PA. Failure to improve cardiopulmonary fitness in cardiac rehabilitation. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2009;29(5):284-291.

Schnabel G, Harre HD, Krug J. *Trainingslehre – Trainingswissenschaft. Leistung-Training-Wettkampf*. 2008, Aachen: Meyer & Meyer.

Schneider DA, McGuiggin ME, Kamimori GH. A comparison of the blood lactate and plasma catecholamine thresholds in untrained male subjects. *Int J Sports Med* 1992;13(8):562-566.

Schuler G, Hambrecht R, Schlierf G, Niebauer J, Hauer K, Neumann J, Hoberg E, Drinkmann A, Bacher F, Grunze M, Kübler W. Regular physical exercise and low-fat diet. Effects on progression of coronary artery disease. *Circulation* 1992;86(1):1-11.

Shimizu M, Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P,

- Froelicher VF.** The ventialtory threshold: method protocol, and evaluator agreement. *Am Heart J* 1991;122(2):509-16.
- Sivarajan ES, Newton KM, Almes MJ, Kempf TM, Mansfield LW, Bruce RA.** Limited effects of outpatient teaching and counseling after myocardial infarction: a controlled study. *Heart Lung* 1983;12(1):65-73.
- Smith SC, Allen J, Blair SN, Bonow RO, Brass LM, Fonarow GC, Grundy SM, Hiratzka L, Jones D, Krumholz HM, Mosca L, Pasternak RC, Pearson T, Pfeffer MA, Taubert KA.** AHA/ACC guidelines for secondary prevention for patients with coronary and other atherosclerotic vascular disease: 2006 update. *Circulation* 2006;113:2363-2372.
- Stel VS, Jager KJ, Zoccali C, Wanner C, Dekker FW.** The randomized clinical trial: an unbeatable standard in clinical research? *Kidney Int* 2007;72(5):539-42.
- Stilgenbauer F, Reißnecker S, Steinacker JM.** Herzfrequenzvorgaben für das Ausdauertraining von Herzpatienten. *Dtsch Z Sportmed* 2003;54(10):295-296.
- Swain DP, Franklin BA.** Is there a threshold intensity for aerobic training in cardiac patients? *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(7):1071-1075.
- Swain DP, Franklin BA.** Comparison of cardioprotective benefits of vigorous versus moderate intensity aerobic exercise. *Am J Cardiol* 2006;97(1):141-147.
- Tabet JY, Meurin P, Ben Driss A, Weber H, Renaud N, Cohen-Solal A (II).** Exercise training in cardiac patients: usefulness of the cardiopulmonary exercise test. *Ann Cardiol Angeiol* 2006;55(4):178-186.
- Taylor RS, Brown A, Ebrahim S, Jolliffe J, Noorani H, Skidmore B, Stone JA, Thompson DR, Oldridge N.** Exercise-based rehabilitation for patients with coronary heart disease: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Med* 2004;116(10):682-692.
- Tegtbur U, Machold H, Meyer H, Storp D, Busse MW.** Bestimmung des Bereichs intensiver Dauerleistungsfähigkeit bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit. *Z Kardiologie* 2001;90(9):637-645.

- Tegtbur U, Meyer H, Machold H, Busse MW.** Belastungsdiagnostische Kenngrößen und Katecholamine bei Koronarpatienten. *Z Kardiol* 2002;91(11):927-936.
- Thompson PD.** Exercise prescription and proscription for patients with coronary artery disease. *Circulation* 2005;112(15):2354-2363.
- Trappe HJ, Löllgen H.** Leitlinie zur Ergometrie. Deutsche Gesellschaft für Kardiologie. *Z Kardiol* 2000;89:821-31.
- Tygesen H, Wettersvik C, Wennerblom B.** Intensive home-based exercise training in cardiac rehabilitation increases exercise capacity and heart rate variability. *Int J Cardiol* 2001;79(2-3):175-182.
- Urhausen A, Coen B, Weiler B, Kindermann W.** Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *Int J Sports Med* 1993;14(3):134-9.
- Van de Werf F, Bax J, Betriu A, Blomstrom-Lundqvist C, Crea F, Falk V, Filippatos G, Fox K, Huber K, Kastrati A, Rosengren A, Steg PG, Tubaro M, Verheugt F, Weidinger F, Weis M.** Management of acute myocardial infarction in patients presenting with persistent ST-segment elevation: the Task Force on the Management of ST-Segment Elevation Acute Myocardial Infarction of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2008;29(23):2909-2945.
- Vanhees L, Fagard R, Thijs L, Amery A.** Prognostic value of training-induced change in peak exercise capacity in patients with myocardial infarcts and patients with coronary bypass surgery. *Am J Cardiol* 1995;76(14):1014-1019.
- Vanhees L, Rauch B, Piepoli M, van Buuren F, Takken T, Börjesson M, Bjarnason-Wehrens B, Doherty P, Dugmore D, Halle M.** Importance of characteristics and modalities of physical activity and exercise in the management of cardiovascular health in individuals with cardiovascular disease (Part III). *Eur J Prev Cardiol* 2012, first published on January 23, 2012 as doi: 10.1177/2047487312437063.
- Wagner A, Becker A.** Die Rolle von Sport als Medizin in der hausärztlichen Praxis am Beispiel der koronaren Herzkrankheit. *Z Allg Med* 2008;84:125-140.
- Wade DT.** Randomized clinical trial in clinical rehabilitation. *Clin Rehabil*

2005;19(3):233-236.

Weineck J. *Optimales Training* (16. Aufl). 2010, Balingen: Spitta.

Williams BA. Perils of evidence-based medicine. *Perspect Biol Med* 2010;53(1):106-120.

Williams MA, Ades PA, Hamm LF, Keteyian SJ, LaFontaine TP, Roitman JL, Squires RW. Clinical evidence for a health benefit from cardiac rehabilitation: an update. *Am Heart J* 2006;152(5):835-841.

Willimczik K. *Statistik im Sport*. Forschungsmethoden in der Sportwissenschaft. Band 1. 1992, Ahrensburg: Czwilina.

Wisløff U, Støylen A, Loennechen JP; Bruvold M, Rognmo Ø, Haram PM, Tjønnå AE, Helgerud J, Slørdahl SA, Jun Lee S, Videm V, Bye A, Smith GL, Najjar SM; Ellingsen Ø, Skjærpe T. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training heart failure patients. *Circulation* 2007;115(24):3086-3094.

Wisløff U, Ellingsen Ø, Kemi OJ. High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training? *Exerc Sport Sci Rev* 2009;37(3):139-146.

Wonisch M. Betablocker und körperliche Leistung: Auswirkungen auf kardiorespiratorische und metabolische Parameter. *J Hypertonie* 2001;5(4):27-32.

Wonisch M, Berent R, Klicpera M, Laimer H, Marko C, Pokan R, Schmid P, Schwann H. Praxisleitlinien Ergometrie. *J Kardiol* 2008;15(Suppl A):3-17.

7. Verzeichnisse

7.1. Abkürzungsverzeichnis

AACVPR	American Association of Cardiovascular und Pulmonary Rehabilitation
Abb.	Abbildung
ACE	angiotensin converting enzyme
ACSM	American College of Sports Medicine
AHA	American Heart Association
AP	Angina Pectoris
ASE	American Society of Echocardiography
AT	anaerobic threshold (respiratorisch gemessene anaerobe Schwelle)
BB	Blutbild
B-EKG	Belastungs-Elektrokardiogramm
BMI	body mass index
BMJ	Bundesministerium der Justiz
BSC	Belgian Society of Cardiology
bspw.	beispielsweise
BZ	Blutzucker
CCS	Canadian Cardiovascular Society
COPD	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DGPR	Deutsche Gesellschaft für Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislauserkrankungen e.V.
DRV	Deutsche Rentenversicherung
EACPR	European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation
ed.	Edition
EE	energy expenditure (Energieumsatz)
EKG	Elektrokardiogramm
et al.	et alii (und andere)
evtl.	eventuell

FEV1	forced expiratory volume (Einsekundenkapazität)
Hb	Hämoglobin
HDL	high-density lipoprotein
HF	Herzfrequenz
HF _{max}	maximale Herzfrequenz
HFR	Herzfrequenzreserve
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
IMSIE	Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Epidemiologie
ITT	intention to treat
k.A.	keine Angabe
kardiol.	kardiologisch
KG	Körpergewicht
KHK	Koronare Herzkrankheit
KKSK	Koordinierungszentrum für klinische Studien der Universität zu Köln
LDL	low-density lipoprotein
LV-EF	linksventrikuläre Ejektionsfraktion
max.	maximal
maxLass	maximales Laktat-Steady-State
MET	metabolisches Äquivalent
MHz	Megahertz
min.	minimal
mmol/l	Millimol pro Liter
n	Stichprobengröße
n.s.	nicht signifikant
NYHA	New York Heart Association
ÖKG	Österreichische Kardiologische Gesellschaft
OpErgo	Optimierung des Ergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation
O ₂	Sauerstoff
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PTCA	perkutane transluminale koronare Angioplastie
p-Wert	Signifikanzwert
RCT	randomized controlled trial

RPE	ratings of perceived exertion (vgl. Borg-Skala)
RQ	respiratorischer Quotient
s	standard deviation (Standardabweichung)
S/min	Schläge pro Minute
SGB	Sozialgesetzbuch
SM/ICD	Schrittmacher / implantable cardioverter defibrillator
SOP	standard operating procedure
SPSS	Statistical Package for Social Science
Tab.	Tabelle
u.U.	unter Umständen
VCO ₂	Kohlendioxidabgabe in Milliliter pro Minute
VO ₂	Sauerstoffaufnahme in Milliliter pro Minute
VO ₂ AT	ventilatorische anaerobe Schwelle (AT= anaerobic treshold)
VO _{2max}	maximale Sauerstoffaufnahme
VO _{2peak}	höchste, bei der Belastung gemessene Sauerstoffaufnahme ohne „levelling off“
vs.	versus
W _{peak}	höchste, bei der Belastung gemessene Wattleistung
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
$\bar{x}$	arithmetisches Mittel
z.B.	zum Beispiel
ZKS	Zentrum für klinische Studien
Z.n.	Zustand nach
%	Prozent

7.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Gesamtgruppe.....	10
Tabelle 2: Anthropometrische Daten der Untersuchungsgruppe, differenziert nach Trainingsgruppen.....	10
Tabelle 3: Kardiovaskuläre Diagnosen der Patienten zu Beginn der Rehabilitation, differenziert nach Trainingsgruppen.....	11
Tabelle 4: Ergebnisse der echokardiographischen Untersuchung zu Beginn der Rehabilitation, differenziert nach Trainingsgruppen.....	12
Tabelle 5: Kardiovaskuläres Risikoprofil zu Beginn der Rehabilitation, differenziert nach Trainingsgruppen.	12
Tabelle 6: Medikation der Patienten bei der Eingangsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen.	13
Tabelle 7: Angaben zur Berufsarbeit, differenziert nach Trainingsgruppen.	13
Tabelle 8: Untersuchungsgang der Studie.....	14
Tabelle 9: Phaseneinteilung des Ergometertrainings.....	19
Tabelle 10: Absolvierte Trainingstage des Ergometertrainings.	21
Tabelle 11: Signifikanzschränken.	22
Tabelle 12: Trainingsempfehlungen (Watt) und die daraus abgeleiteten Variablen der Gesamtgruppe differenziert nach Art der Trainingssteuerung.....	25
Tabelle 13: Trainingsempfehlungen (Trainingsherzfrequenz) und die daraus abgeleiteten Variablen der Gesamtgruppe differenziert nach Trainingssteuerung.....	27
Tabelle 14: Laktatwerte (mmol/l) bei den jeweils berechneten Trainingsempfehlungen in der Gesamtgruppe.....	29
Tabelle 15: Laktatwerte (mmol/l) bei den jeweils berechneten Trainingsempfehlungen je Trainingsgruppe.....	30
Tabelle 16: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei definierten Laktatwerten, differenziert nach Trainingsgruppen.....	33
Tabelle 17: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten, differenziert nach Trainingsgruppen.....	35

Tabelle 18: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten, differenziert nach Trainingsgruppen.....	37
Tabelle 19: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der körperlichen Belastbarkeit gemessen an der maximal (Watt) und relativ (Watt/kg/Körpergewicht) erreichten Ergometerleistung, der maximalen (ml/min) und relativen (ml/min/kg Körpergewicht) Sauerstoffaufnahme sowie der Leistung (Watt) an der respiratorisch ermittelten anaeroben Schwelle, differenziert nach Trainingsgruppen.	39
Tabelle 20: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Laktatwerte bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen.....	42
Tabelle 21: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Herzfrequenz bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Untersuchungsgruppen.	43
Tabelle 22: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen des mittleren systolischen Blutdrucks bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen.	45
Tabelle 23: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen des mittleren diastolischen Blutdrucks bei der Belastungsuntersuchung.	46
Tabelle 24: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren angegebenen Borg-Skala-Werte bei der Belastungsuntersuchung. ...	48
Tabelle 25: Trainingsempfehlungen für Herz-Kreislauf-Patienten in der kardiologischen Rehabilitation.	61
Tabelle 26: Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten nach der Dauermethode.	68
Tabelle 27: Trainingseffekte von Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten auf die maximale Leistung in Watt.	81
Tabelle 28: Trainingseffekte von Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten auf die maximale und max. relative Sauerstoffaufnahme. ...	84
Tabelle 29: Trainingseffekte von Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten auf die Ruheherzfrequenz.	88
Tabelle 30: Trainingseffekte von Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten auf den systolischen Blutdruck.	90

7.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Powerberechnung (Power 80%).	8
Abbildung 2: Disposition der Patienten.	9
Abbildung 3: Spirometrie der Firma Jaeger® (Oxycon Pro) und Fahrrad- ergometer der Firma Ergoline® (ergoselect 200 K).	16
Abbildung 4: The RPE Scale for Ratings of Perceived Exertion.	17
Abbildung 5: BIOSEN-C-line, Barleben.	18
Abbildung 6: Trainingshäufigkeit der Gesamtgruppe.	21
Abbildung 7: Mittlere Trainingsintensität in Watt, differenziert nach Trainingsempfehlungen.	26
Abbildung 8: Mittlere Trainingsintensität in Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}), differenziert nach Trainingsempfehlungen.	26
Abbildung 9: Mittlere Trainingsherzfrequenz (S/min), differenziert nach Trainingsempfehlungen.	28
Abbildung 10: Verteilung der berechneten Laktatwerte der Gesamtgruppe bei einer möglichen herzfrequenzbasierten Trainingsempfehlung.	29
Abbildung 11: Verteilung der berechneten Laktatwerte der Gesamtgruppe bei einer möglichen laktatbasierten Trainingsempfehlung.	30
Abbildung 12: Verteilung der berechneten Laktatwerte bei der ausgesprochenen Trainingsempfehlung der laktatbasierten Gruppe.	31
Abbildung 13: Verteilung der berechneten Laktatwerte bei der ausgesprochenen Trainingsempfehlung der herzfrequenzbasierten Gruppe.	32
Abbildung 14: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei 2,5 mmol/l, differenziert nach Trainingsgruppen.	33
Abbildung 15: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei 3,0 mmol/l, differenziert nach Trainingsgruppen.	34
Abbildung 16: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Herzfrequenz bei 2,0 mmol/l, differenziert nach Trainingsgruppen.	36
Abbildung 17: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten, differenziert nach Trainingsgruppen.	38

Abbildung 18: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren maximal erreichten Ergometerleistung in Watt, differenziert nach Trainingsgruppen.....	40
Abbildung 19: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}), differenziert nach Trainingsgruppen.....	41
Abbildung 20: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Laktatwerte bei den einzelnen Stufen der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen.	42
Abbildung 21: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Herzfrequenz bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen.....	44
Abbildung 22: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren systolischen Blutdruckwerte bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen.	45
Abbildung 23: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren diastolischen Blutdruckwerte bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen.	47
Abbildung 24: Durch die Rehabilitation erzielte Veränderungen der mittleren Borg-Skala-Werte (RPE-Skala) bei der Belastungsuntersuchung, differenziert nach Trainingsgruppen.	48

8. Anhang

Erstautor Jahr	n	Alter	Intensität		Dauer in Wochen	Frequenz / Woche	Dauer / Einheit	Methode	Trainingseffekte				
			VO _{2peak}	HF _{max}					VO _{2peak}	VO _{2ml/kg KG}	Watt _{max}	Ruhe RR _{sys}	Ruhe HF
HF-Gruppe	138	51	70%	79%	3	5 x	20-27 min	Ergometer	+ 1,9%	+ 1,8%	+ 3,8%	- 6,3%	- 2,8%
Laktat-Gruppe	137	49	57%	71%	3	5 x	20-27 min	Ergometer	+ 3,5%	+ 3,5%	+ 5,6%	- 6,0%	- 4,4%
Bäck 2008	37		70%	--	32	5 x	30 min	Ergometer	+ 15,3%	--	--	--	--
Giallauria 2008	30	56	60-70%	--	24	3 x	30 min	Ergometer		+ 30%	+ 24,2%	- 3,1%	- 3,5%
Hansen 2008	134	63	65%	--	7	3 x	40-60 min	Ergometer / Laufband / Handergometer	+ 12%	--	+ 13%	keine Veränderung	- 3%
Ferrand-Guillard 2002	13	54	--	70% HFR	4	5 x	40 min	Ergometer / Laufband	--	+ 12,4%	+ 17,4%	--	- 13,7%
Ferrand-Guillard 2002	11	54	--	HF an VT	4	5 x	40 min	Ergometer / Laufband	--	+ 13,8%	+ 19,8%	--	- 4,3%
La Rovere 2002	49	51	--	75-95%	4	5 x	30 min	Ergometer / Gymnastik	--	sign. Zunahme	sign. Zunah.	keine Veränderung	- 9,3%
Belardinelli 2001	59	53	60%	--	24	3 x	30 min	Ergometer	+ 25%	+ 27%	--	- 4,7%	- 6,6%
Bjarnason-Wehrens 1999	262	54	bei 1,5 - 2,5 Laktat des B-EKGs		4	5 x	18-33 min	Ergometer	--	--	+ 15,8%	- 1,6%	- 5,6%
Jensen 1996	91	54	50%	--	48	3 x	45 min	Ergometer / Walking / Jogging	+ 9,5%	--	--	--	--
Jensen 1996	108	54	85%	--	48	3 x	45 min	Ergometer / Walking / Jogging	+ 12,6%	--	--	--	--

Erstautor Jahr	n	Alter	Intensität		Dauer in Wochen	Frequenz / Woche	Dauer / Einheit	Methode	Trainingseffekte				
			VO _{2peak}	HF _{max}					VO _{2peak}	VO _{2ml/kg KG}	Watt _{max}	Ruhe RR _{sys}	Ruhe HF
HF-Gruppe	138	51	70%	79%	3	5 x	20-27 min	Ergometer	+ 1,9%	+ 1,8%	+ 3,8%	- 6,3%	- 2,8%
Laktat-Gruppe	137	49	57%	71%	3	5 x	20-27 min	Ergometer	+ 3,5%	+ 3,5%	+ 5,6%	- 6,0%	- 4,4%
Schuler 1992	56	53	--	75%	48	7 x	30 min	Ergometer	--	+ 11%	+ 23%	keine Veränderung	- 8%
Oldridge 1989	12	52	--	65-80%	12	5 x	75-90 min	Ergometer / Walking / Laufband	+ 18,4%	--	+ 14%	--	--
Ehsani 1986	25	52	60-90%	--	48	3-5 x	40-60 min	Jogging und / oder Ergometer	--	+ 37%	+ 26%	keine Veränderung	- 12,5%
Hung 1984	23	53	--	75-80%	32	5 x	30 min	Ergometer	--	--	+ 23,6%	--	--
Kasch 1969	11	50	--	69-80%	24	4 x	45-60 min	Ergometer	--	+ 54%	--	- 6,7%	- 15%

Anhang zur Tabelle 26: Ausdauertrainingsstudien mit KHK-Patienten nach der Dauermethode.

9. Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name	Daniel Bott
Geburtsdatum	20.10.1977
Geburtsort	Weingarten
Nationalität	deutsch

Schulbildung:

1984 - 1988	Grundschule St. Konrad, Ravensburg (RV)
1988 - 1997	Katholisches Freies Gymnasium St. Konrad, RV

Zivildienst:

1997 - 1998	<i>Rettungssanitäter</i> , Deutsches Rotes Kreuz, RV
-------------	--

Hochschulausbildung:

1998 - 2002	<i>Diplom-Sportwissenschaftler</i> , Studienschwerpunkt Prävention und Rehabilitation, Deutsche Sporthochschule (DSHS) Köln
2003 - 2007	<i>Diplom-Sportökonom</i> , Zusatzstudiengang an der DSHS Köln in Kombination mit der FernUniversität Hagen
2005 - 2012	<i>Promotionsstudium</i> an der DSHS Köln

Wissenschaftlicher / beruflicher Werdegang:

2002 - 2003	<i>Studentische Hilfskraft</i> , Institut für Kreislauf-forschung und Sportmedizin, DSHS Köln
2002 - 2008	<i>Herzsportgruppenleiter</i> an der DSHS Köln
2003 - 2007	<i>Wissenschaftliche Hilfskraft</i> , Institut für Kreislauf-forschung und Sportmedizin, DSHS Köln
2006 - 2008	<i>Lehrbeauftragter</i> , Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin DSHS Köln
2007 - 2008	<i>Wissenschaftlicher Mitarbeiter</i> , Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, DSHS Köln
seit 2008	<i>Fachexperte Angebote Gesundbleiben</i> , SBK (Siemens-Betriebskrankenkasse), München

München, März 2012

10. Abstract

Einleitung: Die kardiologische Rehabilitation der Phase II wird in Deutschland hauptsächlich in 3-wöchiger stationärer Form angeboten. Das Fahrradergometertraining ist obligater Bestandteil der kardiologischen Rehabilitation. Das Ziel dieser Studie war es, zu überprüfen, ob die Effizienz des Ergometertrainings durch den Einsatz von metabolischen Parametern zur Trainingssteuerung erhöht werden kann. Dazu wurden zwei unterschiedliche Methoden zur Festlegung der Trainingsintensität miteinander verglichen.

Methodik: 285 KHK-Patienten (251 Männer, 34 Frauen mittleres Alter $49,7 \pm 7,5$ Jahre), die an einer 3-wöchigen Anschlussheilbehandlung teilnahmen, wurden in zwei Behandlungsgruppen randomisiert. Gruppe I trainierte gemäß den Empfehlungen der American Heart Association mit einer Intensität von 60% der symptomlimitierten Herzfrequenzreserve, Gruppe II mit 60% der Belastung, die bei 3,0 mmol/l Laktat im Stufentest erzielt wurde. Der Trainingsumfang, gemessen in Kalorienumsatz pro Trainingseinheit, wurde in beiden Gruppen gleich gehalten.

Ergebnisse: 275 Patienten (94,5%) haben die Intervention ordnungsgemäß beendet. 10 Patienten mussten die Teilnahme abbrechen, drei aus kardialen Gründen und sieben aus sonstigen Gründen. Während der 3-wöchigen kardiologischen Rehabilitation absolvierten die Patienten im Mittel $10,7 \pm 1,1$ Trainingseinheiten auf dem Fahrradergometer. Die Methoden zur Trainingssteuerung führten zu hoch signifikant unterschiedlichen Trainingsintensitäten. Patienten der Gruppe I trainierten im Mittel mit einer $24,5 \pm 21,5$ Watt höheren Leistung ($p < 0,001$) und $10,8 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ höheren Herzfrequenz ($p < 0,001$). Die maximale Leistung (Watt) nahm in beiden Gruppen hoch signifikant zu (von $134,8 \pm 30,1$ auf $139,9 \pm 33,3$, $p < 0,001$ bzw. von $134,5 \pm 32,2$ auf $142 \pm 34,3$, $p < 0,001$). Die maximale relative Sauerstoffaufnahme erhöhte sich lediglich in Gruppe II (Gruppe I: von $22,6 \pm 4,4$ auf $23 \pm 4,4$, $p = 0,057$, Gruppe II: von $23 \pm 5,1$ auf $23,8 \pm 5,5$, $p = 0,001$). Ein Unterschied zwischen den Gruppen zeigte sich nicht ($p = 0,01$ bzw. $p = 0,22$). Die Leistung

bei definierten Laktatwerten von 2,5 und 3,0 mmol/l verbesserte sich hoch signifikant ($p < 0,001$) in beiden Gruppen, ein Unterschied zwischen den Gruppen zeigte sich nicht.

Diskussion: Die Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass durch die verschiedenen Methoden zur Trainingssteuerung signifikant unterschiedliche Trainingsempfehlungen entstehen. Trotz der deutlich unterschiedlichen Trainingsintensitäten wurden in beiden Gruppen vergleichbare Verbesserungen erzielt. Das Ergometertraining mit höheren Intensitäten führte nicht zu signifikant besseren Ergebnissen. Studien zeigen, dass Interventionen mit längerer Dauer oder einer höheren Anzahl an Trainingseinheiten pro Woche größere Effekte zur Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit erzielen können.

Introduction: In Germany phase II cardiac rehabilitation (CR) is offered as a 3 week intensive CR program, mainly in a residential setting. Exercise training on a bicycle ergometer is an obligate element of this CR program. The aim of this study was to find out if the effectiveness of the exercise training can be increased by using metabolic parameters to determine exercise intensity. In the study two methods of determining the exercise intensity were compared.

Methods: 285 Patient with coronary artery disease (251 men, 34 women mean age 49.7 ± 7.5 years), which participated in a 3 week phase II CR program were randomised into two trainings groups. Group I performed the exercise training with a work load according to 60% of symptom limited heart rate reserve as recommended by the AHA, group II with 60% of the work load achieved by 3.0 mmol/l lactate during the incremental bicycle ergospirometrie. The amount of exercise measured as the metabolic rate during each exercise unit was kept equal in both groups.

Results: 275 patients (94,5%) completed the program. Ten drop-outs were registered, in three cases for cardiac and in seven for non-cardiac reasons. During the 3 week CR the patients performed $10,7 \pm 1,1$ exercise units on the bicycle ergometer. The two methods resulted in different exercise intensities. In group I the mean exercise intensity was $24,5 \pm 21,5$ watt higher ($p < 0,001$) and the target heart rate was $10,8 \pm 10 \text{ min}^{-1}$ higher ($p < 0,001$) than in group II. The achieved maximum work load (watt) improved in both groups (134.8 ± 30.1 to 139.9 ± 33.3 , $p < 0.001$ vs. 134.5 ± 32.2 to 142 ± 34.3 , $p < 0.001$). $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (ml/min/kg) increased only in group II (group I: 22.6 ± 4.4 to 23 ± 4.4 , $p = 0.057$, group II: 23 ± 5.1 to 23.8 ± 5.5 , $p = 0.001$) with no differences between the groups ($p = 0.17$ and $p = 0.22$ respectively). The mean work load achieved at defined lactate levels of 2.5 and 3.0 mmol/l increased significantly ($p < 0.001$) in both groups with no difference between the groups.

Discussion: The results demonstrate that the two different methods of determining the target exercise intensity lead to significant differences in the exercise prescription. Despite the significant difference in exercise intensity

similar improvements were achieved in both groups. Exercising with higher intensity did not result in significantly better outcomes. Studies show that longer programme duration or higher number of training sessions per week can be more effective than a lower number of training sessions per week in enhancing physical work capacity.