

Optimierung der Intensitätssteuerung des Ergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation.

Abschlussbericht Op-Ergo-Studie

Inhaltsverzeichnis

Thema	Seite	
1.1	Zusammenfassung	3
1.2	Ziele und Einführung	4
1.3	Projektverlauf	7
1.3.1	Untersuchungsgruppe	7
1.3.2	Randomisation	8
1.3.2.1	Demographie und Baseline Charakteristika der Untersuchungsgruppe	9
1.4	Erhebungs- und Auswertungsmethodik	13
1.4.1	Spirometrie	13
1.4.1.1	Laktatbestimmung	13
1.4.2	Ergometertraining	14
1.4.3	Statistische Auswertung	17
1.4.3.1	Berechnung der Leistung und Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten	17
1.4.3.2	Berechnung der Leistung bei definierter Herzfrequenz	18
1.5	Ergebnisse	18
1.6	Diskussion und Ausblick	25
1.7	Umsetzung und Ergebnisse	30
	Literaturliste	31
1.8	Publikationsliste	34

Optimierung der Intensitätssteuerung des Ergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation.

Abschlussbericht Op-Ergo-Studie

Bjarnason-Wehrens B,¹ Bott D,¹ Busch C,¹ Abel T,² Sahin K,³ Kohlmeyer M,⁴ Seifert A,⁴ Nebel R,⁴ Mayer-Berger W.⁴

¹ Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Deutsche Sporthochschule Köln

² Institut für Motorik und Bewegungstechnik, Deutsche Sporthochschule Köln

³ Institut für medizinische Statistik, Informatik und Epidemiologie der Universität zu Köln

⁴ Klinik Roderbirken, Leichlingen

1.1 Zusammenfassung

Ergometertraining ist fester Bestandteil der kardiologischen Rehabilitation der Phase II. Unklar ist, welche Form der Trainingssteuerung zu der höchsten Wirksamkeit des Trainings führt. Ziel der Studie war es, zwei unterschiedliche Formen der Trainingssteuerung und den daraus hergeleiteten Trainingsempfehlungen für das Ergometertraining miteinander zu vergleichen und die Effizienz beider Methoden zur Trainingssteuerung, gemessen an der Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit zu überprüfen. 285 KHK-Patienten (251 Männer, 34 Frauen, mittleres Alter $49,7 \pm 7,5$ Jahre), die an einer 3wöchigen kardiologischen Rehabilitation teilnahmen, wurden in zwei Therapiegruppen randomisiert. Zu Beginn und am Ende der Rehabilitationsmaßnahme absolvierten alle Patienten eine spiroergometrische Untersuchung. Für die Bestimmung der Laktatleistungskurve wurde auf jeder Belastungsstufe eine Blutprobe aus dem hyperämisierten Ohrläppchen abgenommen. Eine Gruppe führte das Ergometertraining herzfrequenzgesteuert mit einer Intensität von 60% der symptomlimitierten Herzfrequenzreserve (Herzfrequenzgruppe) durch. Die andere Gruppe trainierte laktatgesteuert mit 60% der Belastung, die bei 3,0 mmol/l Laktat im Stufentest erzielt wurde (Laktatgruppe). Der Trainingsumfang, gemessen in Kalorienumsatz pro Trainingseinheit, wurde in beiden Gruppen gleich gehalten. 275 Patienten (94,5%) haben die Intervention ordnungsgemäß abgeschlossen. Sie absolvierten im Mittel $10,7 \pm 1,1$ Trainingseinheiten auf dem Fahrradergometer. Die Methoden zur Trainingssteuerung führten zu signifikant unterschiedlichen Trainingsempfehlungen.

Patienten der *Herzfrequenzgruppe* trainierten im Mittel mit einer $24,5 \pm 21,5$ Watt höheren Leistung ($p < 0,001$) und $10,8 \pm 10$ Schläge/ min^{-1} höheren Herzfrequenz ($p < 0,001$). Gemessen an der maximal erreichten Ergometerleistung (Watt_{max}) und Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) wurden durch die Rehabilitation in beiden Gruppen nur geringfügige Verbesserungen erzielt (Herzfrequenzgruppe: $\text{VO}_{2\text{peak}}$ +2% ($p = 0,102$), Watt_{max} +4% ($p < 0,001$); Laktatgruppe $\text{VO}_{2\text{peak}}$ + 3% ($p < 0,001$) Watt_{max} +6% ($p < 0,001$)). Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant. Hauptzielparameter für die Beurteilung der Effizienz des Ergometertrainings war die Veränderung der erzielten Leistung bei 2,5 mmol/l Laktat. Diese wurde in der Herzfrequenzgruppe um 10% ($p < 0,001$) und die Laktatgruppe um 6% ($p < 0,001$) gesteigert. Der Unterschied zwischen den Gruppen war jedoch nicht signifikant.

Die Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass durch die verschiedenen Methoden zur Trainingssteuerung signifikant unterschiedliche Trainingsempfehlungen entstehen. In beiden Gruppen wurden signifikante Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit erzielt. Obwohl die Herzfrequenzgruppe im Mittel mit deutlich höheren Intensitäten trainierte, war die Trainingseffizienz in beiden Gruppen vergleichbar.

1.2 Ziele und Einführung

Das übergeordnete Ziel der kardiologischen Rehabilitation ist entsprechend dem SGB IX die Wiederherstellung und Sicherung der Teilhabe. Unter Teilhabe wird dabei die Integration in Beruf, Familie und Privatleben sowie die Erhaltung der Selbständigkeit verstanden (1). Eine gute körperliche Leistungsfähigkeit insbesondere eine gute aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit ist eine wichtige Voraussetzung für sowohl die berufliche als auch soziale Reintegration. Eine wesentliche Aufgabe der kardiologischen Rehabilitation ist die Einleitung eines individuell angepassten körperlichen Trainings.

Primäres Ziel trainingsbasierter Maßnahmen in der kardiologischen Rehabilitation ist es, den Verlauf und die Prognose der Herzerkrankung positiv zu beeinflussen. Ergebnisse großer Metaanalysen der Cochrane-Datenbank zeigen, dass durch

Trainingsinterventionen die Gesamtmortalität von KHK-Patienten um 27% (Risiko-reduktion 0,73, Konfidenzintervall 0,54 – 0,98) und die kardiale Mortalität um 31% (Risikoreduktion 0,87, Konfidenzintervall 0,71 – 1,05) reduziert wird (2;3). Ein Sekundäres Ziel von Trainingsinterventionen ist die Verbesserung der symptom-limitierten körperlichen Leistungsfähigkeit (1). Wenn die Belastbarkeit der Patienten dies erlaubt, wird eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch ein trainings-wirksames Ausdauertraining angestrebt. Ergebnisse zahlreicher Studien zeigen, dass ein individuell dosiertes und kontrolliertes Ausdauertraining auch bei Herz-patienten zu einer Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit und einer Ökonomisierung der Herz-Kreislauf-Funktion führt (5-10).

In Deutschland wird die Phase II Rehabilitation entsprechend der Regelförderung als 3wöchiges Rehabilitationsprogramm angeboten. Dieser Zeitraum 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. Das Fahrradergometertraining mit Monitoring ist ein obligater Bestandteil der kardiologischen Rehabilitation der Phase II. In der kürzlich publizierte Deutschen Leitlinie zur Rehabilitation von Patienten mit Herz-Kreislauf-erkrankungen wird empfohlen, das Ergo-metertraining während der Rehabilitation an 5-7 Tagen der Woche mit einer Train-ingsintensität von 40-80% der maximalen Leistungsfähigkeit durchzuführen (1). Durch die Optimierung der interventionellen und konservativen Therapie wächst die Anzahl der Patienten, die erst bei hoher Beanspruchung symptomatisch wird. Gleich-zeitig ist nicht selten die muskuläre Leistungsfähigkeit durch körperliche Inaktivität reduziert. Häufig wird die Belastungsintensität nach herzfrequenzbasierten Regeln festgelegt (z.B. in Prozent der Herzfrequenzreserve). Auf Grund der hohen Variabi-lität der Herzfrequenz bezogen auf die metabolische Situation des Muskels resul-tieren unterschiedliche metabolische Beanspruchungen der Arbeitsmuskulatur, wie Untersuchungen der Laktatwerte bei solchen Trainingsbelastungen aufgezeigt haben. Dies gilt sowohl für den Gesunden aber vor allem für Herzpatienten, da eine große Zahl von ihnen herzfrequenzmodulierende Medikamente (z.B. Beta-Rezep-torenblocker) einnimmt (4;11).

Die aus der Sportmedizin übernommene Laktatdiagnostik zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit und zur Überprüfung von Trainingseffekten stellt einen objektiven, auch weitestgehend von medikamentösen Einflüssen unabhängigen Parameter dar. Die Laktatleistungsdiagnostik könnte für die Dokumentation und Objektivierung von Trainingseffekten in der kardiologischen Rehabilitation einen besonderen Stellenwert einnehmen. Durch Veränderungen der Laktatleistungskurve lassen sich unabhängig von der Motivation des Patienten und Einfluss des Untersuchers sowie eventuellen Veränderung der Medikation selbst geringe Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit nachweisen (4;11). Derzeit wird für die Trainingsempfehlungen in der kardiologischen Rehabilitation in der Regel ein prozentualer Bezug zur maximalen symptomlimitierten Leistungsfähigkeit, der maximalen Herzfrequenz bzw. der Herzfrequenzreserve (maximale Herzfrequenz bei symptomlimitierter Leistungsfähigkeit minus Herzfrequenz in Ruhe) im Fahrradergometer test herangezogen. Hinsichtlich der Dosiswirkungsbeziehung der Trainingsintervention (Art, Dauer und Intensität) gibt es keine prospektiven vergleichenden Studien im Bereich der kardiologischen Rehabilitation. Bei Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen besteht somit noch keine Evidenz hinsichtlich der optimalen Belastungsintensität. Es besteht jedoch kein Zweifel daran, dass diese Patienten von einem aeroben Ausdauertraining profitieren und es eine therapeutische Breite gibt, in der aerobes Ausdauertraining wirkt und eine kardiale Gefährdung nicht oder kaum gegeben ist (11).

Ziel der vorliegenden Studie war es, zwei unterschiedliche Formen der Trainingssteuerung und den daraus hergeleiteten Trainingsempfehlungen für das Ergometertraining miteinander zu vergleichen. Gleichzeitig sollte die Effizienz beider Trainingsmethoden überprüft und verglichen werden. Um dies zu überprüfen wurden im Rahmen einer randomisierten kontrollierten Studie Teilnehmer einer Phase II Rehabilitation in zwei unterschiedliche Trainingsgruppen randomisiert. Eine Gruppe trainierte entsprechend den Empfehlungen der American Heart Association herzfrequenzgesteuert mit 60% der Herzfrequenzreserve. Die zweite Gruppe trainierte metabolisch gesteuert anhand der während der Belastungsuntersuchung erzielten Laktatwerte.

1.3 Projektverlauf

Das Projekt wurde von Oktober 2005 bis September 2006 in der Klinik Roderbirken in Leichlingen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin der Deutschen Sporthochschule in Köln durchgeführt. Im Einvernehmen mit allen an der Studie Beteiligten Personen und Institutionen wurde unmittelbar zu Beginn der Studie eine Veränderung des ursprünglichen Studienprotokolls vorgenommen und die Intensität von 70 auf 60% der Herzfrequenzreserve reduziert, um in der Herzfrequenzgruppe zu hohe Trainingsintensitäten zu vermeiden.

1.3.1 Untersuchungsgruppe

In die Studie integriert wurden Patienten, die an einer dreiwöchigen kardiologischen Rehabilitationsmaßnahme in der Klinik Roderbirken teilnahmen. Voraussetzung für die Aufnahme in die Studie war eine angiographisch nachgewiesene koronare Herzkrankung 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. Die Patienten mussten zudem einen Sinusrhythmus aufweisen.

Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die primären Ausschlusskriterien der OpErgo-Studie.

Primäre Ausschlusskriterien
akutes Koronarsyndrom mit einem zeitlichen Abstand von < 10 Tagen
mittel- bis höhergradig eingeschränkte systolische Herzfunktion
Aortokoronare Bypass-Operation ≤ 3 Monate
Vorhofflimmern oder eine therapierelevante ventrikuläre Herzrhythmusstörung
klinisch limitierende pAVK (Stadium \geq IIa n. Fontaine)
bestehende hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie
nicht einstellbare arterielle Hypertonie
hämodynamisch relevante Herzklappenfehler

Primäre Ausschlusskriterien
(Peri-) Myokarditis
Lungenembolie innerhalb ≤ 6 Monate
limitierende orthopädische Begleiterkrankungen
konsumierende und interkurrente Erkrankungen
Niereninsuffizienz (Creatinin $> 2,0$ mg/dl)
Anämie (Hb < 12 g/dl)
schwere COPD (FEV1 $< 35\%$)
Respiratorische Globalinsuffizienz

Tab. 1: Primäre Ausschlusskriterien der OpErgo-Studie.

Ausgeschlossen wurden zudem (sekundäre Ausschlusskriterien) Patienten, die eine metabolische Belastung von 3,0 mmol Laktat pro Liter Blut im symptomlimitierten Belastungstest oder eine symptomlimitierte Trainingsbelastung von 60% der Leistung bei einem Laktatwert von 3,0 mmol/Liter Blut nicht erreichten.

1.3.2 Randomisation

Für die Randomisation wurden vom Institut für medizinische Statistik, Informatik und Epidemiologie der Universität zu Köln Randomisationslisten zur Verfügung gestellt, mit deren Hilfe die Randomisation stratifiziert nach Geschlecht von Mitarbeitern der Deutschen Sporthochschule durchgeführt wurde. Von 350 gescreenten Patienten wurden 296 Patienten in die Studie randomisiert. Fälschlicherweise waren aber unter den bereits randomisierten Patienten auch 11 Patienten, die entweder die Einschlusskriterien nicht erfüllten und/oder Ausschlusskriterien aufwiesen und folglich vor Aufnahme des Trainings wieder ausgeschlossen werden mussten. Diese 11 Patienten wurden nach der Randomisation nicht weiter beobachtet. Die Untersuchungsgruppe bestand somit aus insgesamt 285 Patienten.

Insgesamt 10 Patienten haben die Studie vorzeitig beendet. Drei dieser Patienten brachen das Training vorzeitig aus kardialen Gründen ab. Bei sechs Patienten wurden sonstige nicht kardiale Gründe für den vorzeitigen Abbruch angegeben. Bei einem Patienten wurde die Studienteilnahme auf Veranlassung des Prüfarztes abgebrochen. Die Disposition der Patienten ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt.

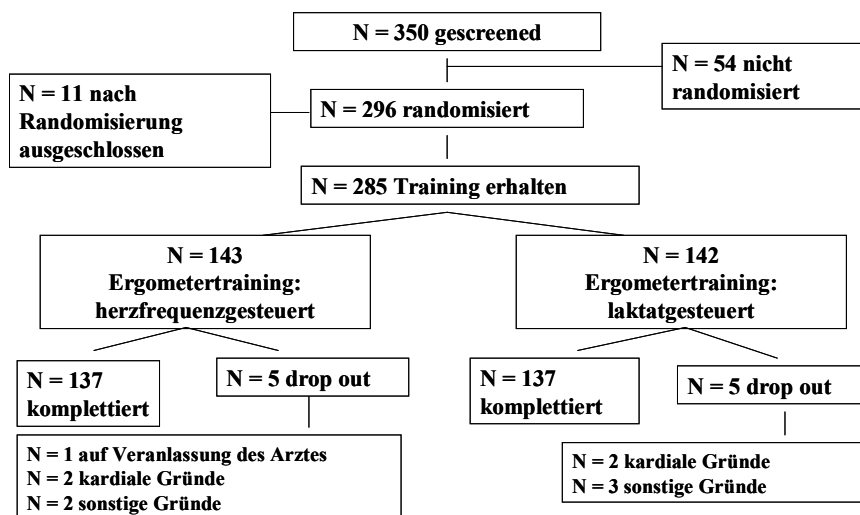


Abb. 1: Disposition der Patienten

1.3.2.1 Demographie und Baseline Charakteristika der Untersuchungsgruppe

Von den 285 Patienten wurden 143 in die herzfrequenzgesteuerte Trainingsgruppe und 142 in die laktatgesteuerte Trainingsgruppe randomisiert. Die beiden Trainingsgruppen waren hinsichtlich der demographischen Daten und der Baseline-Charakteristika homogen.

Tabelle 2 zeigt die anthropometrischen Daten differenziert nach Trainingsgruppen.

n=	Gesamtgruppe n=285				Herzfrequenzgruppe (n=143)				Laktatgruppe (n=142)			
	251 Männer, 34 Frauen				126 Männer, 17 Frauen				125 Männer, 17 Frauen			
285	Alter	Größe in cm	Gewicht in kg	BMI in kg/m ²	Alter	Größe in cm	Gewicht in kg	BMI in kg/m ²	Alter	Größe in cm	Gewicht in kg	BMI in kg/m ²
M	49,7	174,8	86,9	28,4	50,6	174,6	87,1	28,5	48,8	174,9	86,6	28,3
s	7,5	7,7	14,1	3,8	7,7	7,4	13,5	3,5	7,3	8,0	14,9	4,2
min	22	156	50	19,9	23	158	61	21,1	22	156	50	19,9
max.	74	198	140	41,8	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											

Tab. 2 Anthropometrische Daten der Untersuchungsgruppe, differenziert nach Trainingsgruppen (P-Wert*= Unterschied zwischen den Trainingsgruppen).

P-Wert* ist berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Wilcoxon-Rang-Summen-Tests für unabhängige Stichproben.

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

Bei allen Patienten lag als Einschlusskriterium eine angiographisch nachgewiesene koronare Herzerkrankung vor. Hauptindikation zur Rehabilitation war bei 245 (86%) Patienten Zustand nach Myokardinfarkt, darunter bei 233 Patienten mit Katheterintervention. Insgesamt 206 (72%) Patienten absolvierten eine Anschlussheilbehandlung, 79 ein Heilverfahren. Kostenträger der Rehabilitation war in 92% der Fälle die Deutsche Rentenversicherung (DRV). Es gab keinen Unterschied bei den Verteilungen dieser Variable zwischen den Trainingsgruppen.

Tabelle 3 zeigt die kardiovaskulären Diagnosen differenziert nach Trainingsgruppen.

Kardiovaskuläre Diagnose			Herzfrequenzgruppe (n=143)		Laktatgruppe (n=142)	
	n	%	n	%	n	%
(n=285)						
Koronare Herzkrankheit	285	100	143	100	142	100
0-Gefäßkrankung	2	,7	1	,7	1	,7
1-Gefäßkrankung	143	50,2	70	49,0	73	51,4
2-Gefäßkrankung	90	31,6	45	31,5	45	31,7
3-Gefäßkrankung	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	94,0	133	93,0	135	95,1
PTCA	267	93,7	132	92,3	135	95,1
Stent-Implementatation	250	87,7	126	88,1	124	87,3
Z.n. Myokardinfarkt	252	88,4	123	86,0	129	90,8
Z.n. Bypassoperation	7	2,5	4	2,8	3	2,1
Z.n. ent. Herzerkrankung	2	,7	1	,7	1	,7
pAVK*	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

Tab. 3 Kardiovaskuläre Diagnosen der Patienten zu Beginn der Rehabilitation. Differenzierung nach Trainingsgruppen (Mehrfachnennung), (* klinisch nicht limitierend).

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

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Echokardiographie differenziert nach Trainingsgruppen.

Echokardiographie			Herzfrequenzgruppe (n=138)		Laktatgruppe (n=137)	
(n=275)	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

Tab. 4: Ergebnisse der Echokardiographie, differenziert nach Trainingsgruppen.

Tabelle 5 zeigt das kardiovaskuläre Risikoprofil der Patienten 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	57,0
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	7,0	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

Tab. 5 Kardiovaskuläres Risikoprofil zu Beginn der Rehabilitation. Differenzierung nach Trainingsgruppen.

Das kardiovaskuläre Risikoprofil weist keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen auf.

Tabelle 6 zeigt die kardiologische Medikation zu Beginn der Rehabilitation, 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
Arteriöläre 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

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

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

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

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

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

Insgesamt gaben 93 (33%) Patienten (Herzfrequenzgruppe: n=52, Laktatgruppe: n=41) an, in den letzten 6 Monaten vor Beginn der Rehabilitation ein regelmäßiges (mind. 1 Mal pro Woche für mindestens 10 Minuten) Ausdauertraining durchgeführt zu haben.

1.4 Erhebungs- und Auswertungsmethodik:

1.4.1 Spiroergometrie

Zu Beginn und am Ende der Rehabilitationsmaßnahme absolvierten alle Patienten eine spiroergometrische Untersuchung in sitzender Position auf dem Fahrradergometer. Als Belastungsschema wurde eine Stufenbelastung entsprechend den Empfehlungen der WHO gewählt. Beginnend mit 25 Watt erfolgte eine Steigerung um 25 Watt alle 2 Minuten bis zur subjektiven Erschöpfung oder bis zum Auftreten eines der üblichen Abbruchgründe (12). Kontinuierlich wurde ein 12-Kanal-EKG abgeleitet. Am Ende jeder Belastungsstufe wurde die Herzfrequenz, der Blutdruck sowie die kapillare Laktatkonzentration aus dem hyperämisierten Ohrläppchen bestimmt. Gegen Ende jeder Belastungsstufe wurde der Patient auf der Borg-Skala nach seiner subjektiven Einschätzung der Belastung gefragt. Weiter wurden die Spitzen-Sauerstoff-Aufnahme (VO_{2peak}), die Spitzen-Sauerstoff-Aufnahme/kg Körpergewicht (VO_2 ml/kg_{peak}) und die maximal erreichte Wattzahl (W_{peak}) bestimmt. Als Ausbelastungskriterium wurde neben der maximalen Herzfrequenz ein respiratorischer Quotient RQ von 1,1 herangezogen.

1.4.1.1 Laktatbestimmung

Zur kapillaren Blutgewinnung am Ohr wurde mit einer Einmallingzette in das manuell hyperämisierte Ohrläppchen gestochen. Es wurden 20 μ l Blut mit geeichten end-to-end Glas- Kapillaren (Na⁺ heparinisiert) der Firma EKF-DIAGNOSTIK, Barleben, entnommen und in verschließbaren 1 ml Reaktionsgefäße, vorgefüllt mit 1000 μ l Systemlösung, für 20 Sekunden manuell vermischt. Die Blutlaktatwerte wurden unmittelbar im Anschluss enzymatisch-amperometrisch mittels der BIOSEN C_LINE der Firma EKF-DIAGNOSTIK, Barleben, bestimmt.

1.4.2 Ergometertraining

Das Fahrradergometertraining mit Monitoring wurde individuell gesteuert auf elektromagnetisch gebremsten Fahrradergometern der Firma Ergoline (ergometrics 800, angeschlossen an 1 Kanal-Monitore und 1 Kanal-EKG-Recorder) durchgeführt.

Die erste Gruppe führte das Training herzfrequenzgesteuert bei einer Belastung entsprechend 60% der symptomlimitierten Herzfrequenzreserve durch, ermittelt mit der folgenden Formel:

Trainingsherzfrequenz =

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

Als symptomlimitierte Belastbarkeit wurde die höchste Stufe im Belastungs-EKG verstanden, bei der keine pathologischen Symptome auftraten. Die zweite Gruppe führte das Training metabolisch gesteuert mit einer Intensität, analog zu 60% der Belastung, die mit einem Laktatwert von 3,0 mmol/Liter Blut im Stufentest verbunden war, durch.

Der Trainingsumfang, gemessen in Kalorienumsatz pro Trainingseinheit, wurde in beiden Gruppen gleich gehalten. Die Berechnung des Energieverbrauchs erfolgte mit Hilfe der indirekten Kalorimetrie. Der Energieverbrauch wurde über die indirekte Kalorimetrie aus den spirometrisch ermittelten Werten der Sauerstoffaufnahme (VO_2) und der Berücksichtigung der Kohlendioxidabgabe (VCO_2) durch den Respiratorischen Quotienten (RQ) für jede einzelne Belastungsstufe der Eingangsuntersuchung berechnet. Die hierzu verwendete Formel lautet:

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

Wobei:

$$\text{EE}_{\text{Stunde}} = \text{kcal/h}$$
$$\text{VO}_2 = \text{l/min}$$
$$\text{RQ} = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$$

(Vgl. (13))

Um einen unerwünschten Einfluss von unterschiedlichen Energieumsätzen bei den zu vergleichenden Trainingsgruppen auszuschließen, wurden die Trainingszeiten so gestaltet, dass trotz unterschiedlicher Trainingsintensitäten der Gesamtenergieumsatz durch das Training für beide Gruppen gleich war. Hierzu war es erforderlich, die Trainingszeiten entsprechend der errechneten Energieumsätze anzupassen. Als Referenzwert wurde dabei der Energieverbrauch der Trainingsgruppe „Laktatgesteuert“ genutzt und die Trainingszeiten der Gruppe „Herzfrequenzgesteuert“ wurden entsprechend angepasst. Dies galt sowohl für die Einstiegstrainingszeit zu Beginn der Rehabilitationsmaßnahme als auch für die Progression des Trainings im Verlauf der Rehabilitation. Aufwärmzeiten sowie „Cool down“ waren für beide Gruppen identisch und mussten deshalb bezüglich des Energieumsatzes nicht angepasst werden.

Das Ergometertraining wurde in 4 Phasen aufgebaut:

- Aufwärmphase I: Belastungsintensität mit 25 Watt der empfohlenen Trainingsbelastung,
Dauer: 2 Minuten.
- Aufwärmphase II: Allmähliche Steigerung der Belastungsintensität auf die empfohlene Trainingsbelastung, nach Vorgaben des individuellen Trainingsprotokolls.
Dauer: 5 Minuten.
- Trainingsphase: Bei 100% der empfohlenen Trainingsbelastung, entsprechend den Vorgaben des individuellen Trainingsprotokolls.
Dauer: Die individuelle Trainingsdauer zu Beginn des Trainings und die allmähliche Verlängerung im Laufe des Trainings wurden in dem individuellen Trainingsprotokoll vorgegeben.
- Erholungsphase: 3-minütige Erholungs-/Abwärmphase mit einer allmählichen Reduzierung der Belastung auf 1 Watt.

Während jeder Trainingseinheit wurde Belastungsintensität und Belastungsdauer dokumentiert. Weiter wurden bei jedem Training eventuelle Auffälligkeiten subjektiver und objektiver Art dokumentiert.

Während der 3wöchigen Rehabilitation absolvierten die Patienten im Mittel $10,7 \pm 1,1$ Trainingseinheiten auf dem Fahrradergometer.

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Anzahl der absolvierten Trainingstage auf dem Fahrradergometer, differenziert nach Trainingsgruppen.

Trainingstage Ergometertraining			Herzfrequenzgruppe (n=138)		Laktatgruppe (n=137)	
(n=275)	n	%	n	%	n	%
7 Trainingstage	1	0,4	-	-	1	0,7
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	37,0	55	40,1
12 Trainingstage	58	21,1	32	23,2	26	19,0
13 Trainingstage	7	2,5	6	4,3	1	0,7
	M	s	M	s	M	s
Durchschnittliche Trainingstage	10,71	1,1	10,78	1,2	10,64	1,0

Tab. 8 Absolvierte Trainingstage auf dem Fahrradergometer.

Bei der Trainingshäufigkeit wurden keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt.

Die übrigen Schwerpunkte der rehabilitativen Sport- und Bewegungstherapie (Gymnastik - im Rahmen einer Übungs-/Trainingsgruppe, Wandern, Schwimmtraining, Wassergymnastik, Crosstrainer, Walking, Lauftraining und Kraftausdauertraining) wurden quantitativ dokumentiert. Bei der Gesamtdauer aller sonstigen ausdauerrelevanten Maßnahmen und aller zusätzlichen bewegungstherapeutischen, aber nicht ausdauerrelevanten Maßnahmen gab es zwischen den Trainingsgruppen keinen bedeutsamen Unterschied. Häufigkeiten des Auftretens einzelner Auffälligkeiten während des Ergometertrainings in Einheiten waren selten angegeben, zeigten aber zwischen den Trainingsgruppen wieder keinen auffälligen Unterschied.

1.4.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte im Institut für medizinische Statistik, Informatik und Epidemiologie der Universität zu Köln. Wegen der Vereinheitlichung und Verzicht auf Normalverteilungsannahme wurden alle statistischen Tests mit Hilfe von nichtparametrischen Verfahren durchgeführt.

Die Daten der Studie wurden in MACRO der Firma InferMed, London, erhoben und dem Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Epidemiologie der Universität zu Köln (IMSIE) als SPSS-Export, Version 12.0 übergeben. Die Auswertung der Studiendaten wurde mit Hilfe von SAS, Version 9.1 durchgeführt.

1.4.3.1 Berechnung der Leistung und Herzfrequenz 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 benachbarten Tupel des Grenzwertes (p_1, p_2) mit den dazugehörigen (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. Falls der jeweilige Laktatwert bereits bei Ruhe vorkam, wurde dieser ignoriert.

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 benachbarten Tupel des Grenzwertes (p_1, p_2) mit den dazugehörigen (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. Falls der jeweilige Laktatwert bereits bei Ruhe vorkam, wurde diese ignoriert.

1.4.3.2 Berechnung der Leistung bei definierter Herzfrequenz

Für die Leistung in Watt in Abhängigkeit von der Herzfrequenz bei 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120 min⁻¹ als Grenzwert wurde wieder zuerst der benachbarte Tupel des Grenzwertes (p₁, p₂) mit den dazugehörigen (w₁, w₂) 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 ∈ {2.0, 2.5, 3.0} errechnet. Falls die jeweilige Herzfrequenz bereits bei Ruhe vorkam, wurde als dazugehörige Wattzahl "0" eingesetzt.

1.5 Ergebnisse:

Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung

Hypothese 1

Die erste Fragestellung der Untersuchung war: „Führen unterschiedliche methodische Konzeptionen zur Bestimmung der Trainingsintensität - 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?“ Dabei wurde die Hypothese aufgestellt: Bei der Ermittlung der individuellen Trainingsbelastung ergeben sich nach den beiden Methoden unterschiedliche Trainingsempfehlungen.

Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse der statistischen Überprüfung der Hypothese 1. Die Vergleiche erfolgten explorativ unter Benutzung des nichtparametrischen Signed-Rank Tests für abhängige Stichproben. Basis waren die jeweiligen intraindividuellen Differenzen bei jedem Patienten nach den mit beiden Methoden ermittelten Werten.

Trainingsempfehlungen	n	herzfrequenzgesteuert		laktatgesteuert		p-Wert
		M	s	M	s	
Trainingsintensität in Watt	275	80,4	26,4	55,9	13,5	<0,001
% der symptomlim. Belastbarkeit	275	59,9	9,4	43,1	8,1	<0,001
% von VO _{2peak}	275	70,1	7,7	57,3	9,1	<0,001
% der Leistung bei VO _{2 AT}	274	107,5	43,9	86,5	32,1	<0,001

Trainingsherzfrequenz	n	herzfrequenzgesteuert		laktatgesteuert		p-Wert
		M	s	S	s	
in S/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 VO ₂ AT	275	100,3	20,5	90,1	17	<0,001
% der HF bei der max. symptomlim. Belastbarkeit	275	80	3,5	72,1	9,1	<0,001

Tab. 9 Trainingsempfehlungen und abgeleitete Variablen differenziert nach Trainingssteuerung. Der P-Wert ist unter Anwendung des zweiseitigen Signed-Rank Tests für abhängige Stichproben berechnet.

Bei der Ermittlung der individuellen Trainingsbelastung ergeben sich nach den beiden Methoden unterschiedliche Trainingsempfehlungen. Die herzfrequenzgesteuerte Trainingsgruppe zum Teil erhielt zum Teil Trainingsempfehlungen, die erheblich über denen der laktatgesteuerten Gruppe lagen. Der Unterschied zwischen der herzfrequenzgesteuerten und der laktatgesteuerten Trainingsempfehlung war für alle Variablen statistisch signifikant ($p < 0,001$). Der mittlere Unterschied für die Trainingsintensität betrug 24,5 Watt, bei der Trainingherzfrequenz 10,8 Schläge/min.

Hypothese 2

Die zweite Hauptfragestellung der Studie war: „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. Dabei wurde die folgende Hypothese aufgestellt: Durch die Belastungssteuerung auf der Basis von metabolischen Parametern erhöht sich die Effizienz des Ergometertrainings gemessen an der Verbesserung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit bei 2,5/3,0 mmol Laktat pro Liter Blut. Es werden 20% bessere Ergebnisse mit der metabolischen Belastungssteuerung erzielt.

In Tabelle 10 sind die Veränderungen der Leistung in Watt bei definierten Laktatwerten (2,0; 2,5 und 3,0 mmol/l) durch das Ergometertraining, differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

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

Tab. 10: Veränderung der 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-Rang-Summen-Tests für unabhängige Stichproben) p-Wert** T1-T2-Differenz innerhalb den Gruppen (berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Signed-Rank Test für abhängige Stichproben)

In beiden Trainingsgruppen kam es durch das Ergometertraining zu einer signifikanten Steigerung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit gemessen an der Veränderung der Leistung bei definierten Laktatwerten. In der herzfrequenzgesteuerten Trainingsgruppe waren die Veränderungen deutlicher als in der laktatgesteuerten Gruppe. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war jedoch nicht signifikant.

In Tabelle 11 sind die Veränderungen der Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten (2,0; 2,5 und 3,0 mmol/l) durch das Ergometertraining, differenziert nach Trainingsgruppen dargestellt.

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

Tab. 11: Veränderung der Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten von Eingangs- und Ausgangsuntersuchung, 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-Rang-Summen-Tests für unabhängige Stichproben p-Wert** ist berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Signed-Rank Test für abhängige Stichproben.

Statistisch auffällige Unterschiede gab es bei der Herzfrequenz (min^{-1}) bei Laktatwerten von 2,0 und 2,5. Hier war die mittlere Herzfrequenzreduktion in der laktatgesteuerten Trainingsgruppe deutlicher.

Tabelle 12 zeigt die Veränderungen der Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten durch das Ergometertraining, differenziert nach Trainingsgruppen.

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

Tab. 12 Leistung bei definierten Herzfrequenzwerten (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-Rang-Summen-Tests für unabhängige Stichproben)
 p-Wert** T1-T2-Differenz innerhalb den Gruppen (berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Signed-Rank Test für abhängige Stichproben)

In beiden Gruppen wurde bei der Ausgangsuntersuchung bei allen definierten Herzfrequenzwerten eine signifikante höhere Leistung erzielt. Es wurde kein bedeutsamer Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt.

Tabelle 13 stellt die Veränderungen der körperlichen Leistungsfähigkeit gemessen an der maximal und relativ (Watt/kg/Körpergewicht) erreichten Ergometerleistung in Watt, der maximalen und relativen (ml/min/kg Körpergewicht) Sauerstoffaufnahme sowie der Leistung an der respiratorisch ermittelten anaeroben Schwelle, dar.

Körperliche Leistungsfähigkeit	Herzfrequenzgruppe (n=138)				Laktatgruppe (n=137)				p-Wert*
	T1		T2		T1		T2		
	M	s	M	s	M	s	M	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. relativ erreichte Leistung Watt/kg KG	1,6	0,3	1,6	0,3	1,6	0,4	1,7	0,4	0,69
p-Wert**	p<0,001				p<0,001				
VO ₂ peak (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 ₂ peak (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				

Tab. 13 Veränderungen der körperlichen Leistungsfähigkeit 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 an der respiratorisch ermittelten anaeroben Schwelle, Ergebnisse der Belastungsuntersuchungen bei Eingangs- und Ausgangsuntersuchung 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-Rang-Summen-Tests für unabhängige Stichproben)

p-Wert** T1-T2-Differenz innerhalb den Gruppen (berechnet mit Hilfe des zweiseitigen Signed-Rank Test für abhängige Stichproben).

In beiden Gruppen kam es zu einer signifikanten Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit gemessen an der maximalen und maximalen relativ erreichten Ergometerleistung. In der laktatgesteuerten Trainingsgruppe wurde zudem eine signifikante Steigerung der maximalen und relativen Sauerstoffaufnahme beobachtet. Bei keiner dieser Variablen zeigte sich ein bedeutsamer Unterschied zwischen den Gruppen.

Tabellen 14-18 zeigen die Veränderungen der Parameter Laktat, Herzfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck sowie Borgskala auf den einzelnen Belastungsstufen bei der fahrradergometrischen Untersuchung, durch die Rehabilitation. Bis zu einer Belastung von einschließlich 100 Watt wurden die Ergebnisse der Eingangs- und Ausgangsuntersuchung statistisch miteinander verglichen.

Laktat (mmol/l)		Ruhe	25	50	75	100	p-Wert* Interaktion
Herzfrequenzgruppe	n	138	138	138	138	133	p=0,951
T1	M ± s	1,5 ± 0,4	1,4 ± 0,4	1,7 ± 0,5	2,4 ± 0,8	3,4 ± 1,1	
T2	M ± s	1,6 ± 0,4	1,4 ± 0,4	1,6 ± 0,4	2,2 ± 0,7	3,1 ± 1	
	p-Wert**	0,004	0,437	<0,001	<0,001	<0,001	
Laktatgruppe	N	137	137	137	137	131	
T1	M ± s	1,4 ± 0,4	1,3 ± 0,3	1,7 ± 0,4	2,4 ± 0,6	3,4 ± 0,9	
T2	M ± s	1,5 ± 0,5	1,4 ± 0,4	1,6 ± 0,4	2,3 ± 0,7	3,2 ± 1	
	p-Wert**	0,004	0,437	<0,001	<0,001	<0,001	

Tab. 14 Veränderung der Laktatwerte beim Belastungs-EKG von Eingangs-(T1) zu Ausgangsuntersuchung (T2). (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).

In beiden Gruppen war nach der Rehabilitation, ab einer Belastungsstufe von 50 Watt eine signifikante Senkung der Laktatkonzentration zu beobachten. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

Herzfrequenz (Schläge/min)		Ruhe	25	50	75	100	p-Wert* Interaktion
Herzfrequenzgruppe	n	138	138	137	138	133	p=0,589
T1	M ± s	70,2 ± 12,4	82,1 ± 11,9	90,9 ± 13	101,2 ± 15,1	112,3 ± 16,1	
T2	M ± s	68,2 ± 10,4	79,3 ± 9,4	87,2 ± 12,1	97,1 ± 12,5	107,6 ± 14,4	
	p-Wert**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Laktatgruppe	n	137	137	137	137	131	
T1	M ± s	70,9 ± 12,6	82,4 ± 12,2	90,1 ± 12,5	100,2 ± 14,5	110,6 ± 15,4	
T2	M ± s	67,8 ± 10,6	78,9 ± 11,1	86,1 ± 10,3	96 ± 12,4	106,6 ± 14,4	
	p-Wert**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

Tab. 15 Veränderung der Herzfrequenz beim Belastungs-EKG von Eingangs-(T1) zu Ausgangsuntersuchung (T2). (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).

In beiden Gruppen war nach der Rehabilitation sowohl in Ruhe als auch bei allen Belastungsstufen bis 100 Watt eine signifikante Senkung der Herzfrequenz zu beobachten. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

Systolischer Blutdruck (mmHg)		Ruhe	25	50	75	100	p-Wert* Interaktion Gruppe
Herzfrequenzgruppe	n	131	137	137	138	133	p=0,780
T1	M ± s	116,9 ± 19,1	125 ± 23,1	132 ± 21,5	145,9 ± 24,8	161,1 ± 29,9	
T2	M ± s	109,5 ± 16,5	113,8 ± 16,8	123,3 ± 20,5	135,2 ± 23	151,1 ± 23,9	
	p- Wert**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Laktatgruppe	n	132	136	137	136	131	
T1	M ± s	115,5 ± 15,2	123 ± 19	131,2 ± 20,9	142,9 ± 25,5	159,8 ± 27,4	
T2	M ± s	108,6 ± 14,4	114,4 ± 18	122 ± 21	136,1 ± 23,5	155,1 ± 26,9	
	p- Wert**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

Tab. 16 Veränderung des systolischen Blutdrucks beim Belastungs-EKG von Eingangs-(T1) zu Ausgangsuntersuchung (T2). (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).

Diastolischer Blutdruck (mmHg)		Ruhe	25	50	75	100	p-Wert* Interaktion
Herzfrequenzgruppe	n	131	137	137	138	133	p=0,981
T1	M ± s	77,6 ± 11,9	75,5 ± 11	76,1 ± 12	77,5 ± 13,2	80,3 ± 14	
T2	M ± s	72,1 ± 10,2	70,8 ± 9,8	70,3 ± 10	73,2 ± 11,7	76,9 ± 12,1	
	p- Wert**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Laktatgruppe	n	132	136	137	136	131	
T1	M ± s	76,1 ± 10,6	74,3 ± 11,3	74,2 ± 12,1	76,9 ± 11,3	82,2 ± 17	
T2	M ± s	73,4 ± 8,6	71 ± 9,6	70,2 ± 10,4	73,8 ± 12,1	78,6 ± 12,9	
	p- Wert**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

Tab. 17 Veränderung des diastolischen Blutdrucks beim Belastungs-EKG von Eingangs-(T1) zu Ausgangsuntersuchung (T2). (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).

In beiden Gruppen war nach der Rehabilitation sowohl bei den systolischen als auch bei den diastolischen Blutdruckwerten in Ruhe und auf allen Belastungsstufen bis einschließlich 100 Watt eine signifikante Senkung festzustellen. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

Borg-Skala		Ruhe	25	50	75	100	p-Wert* Interaktion
Herzfrequenzgruppe	n	138	138	138	138	133	p=0,508
T1	M ± s	6,3 ± 0,9	8,4 ± 1,7	10,8 ± 1,9	12,9 ± 2	14,8 ± 2,2	
T2	M ± s	6,2 ± 0,7	7,4 ± 1,6	9,1 ± 2,2	11,4 ± 2,4	13,6 ± 2,3	
	p- Wert**	0,052	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Laktatgruppe	n	137	137	137	137	131	
T1	M ± s	6,5 ± 1,2	8,3 ± 1,8	10,7 ± 2,1	12,9 ± 2,2	14,7 ± 2,2	
T2	M ± s	6,2 ± 0,7	7,4 ± 1,6	9,3 ± 2,2	11,7 ± 2,4	14 ± 2,5	
	p- Wert**	0,052	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

Tab. 18 Veränderung der Borgskalenwerte beim Belastungs-EKG von Eingangs-(T1) zu Ausgangsuntersuchung (T2). (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).

Anhand der Borg-Skala wurde das subjektive Belastungsempfinden der Patient auf jeder Belastungsstufe abgefragt. Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Reduktion der angegebenen Werte unter Belastung nach der Rehabilitation. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

1.6 Diskussion und Ausblick

Die Festlegung der Trainingsintensität anhand isolierter Bezugspunkte wie Herzfrequenz, Herzfrequenzreserve oder VO_{2peak} ohne Berücksichtigung von metabolischen und ventilatorischen Spezifitäten kann zu einer großen Bandbreite der Trainingsempfehlungen führen und dadurch unterschiedliche Trainingseffekte hervorrufen (14). Die Ergebnisse der OpErgo-Studie bestätigen die Annahme, dass durch die verschiedenen Methoden zur Trainingssteuerung signifikant unterschiedliche Trainingsempfehlungen entstehen. Die Herzfrequenzgruppe trainierte im

Mittel mit einer $24,5 \pm 21,5$ Watt höheren Leistung und $10,8 \pm 10$ Schläge/min⁻¹ höheren Herzfrequenz als die Laktatgruppe. Gleichzeitig wurde die Annahme bestätigt, dass auf Grund der hohen Variabilität der Herzfrequenz bezogen auf die metabolische Situation des Muskels, in der herzfrequenzgesteuerten Gruppe Trainingsempfehlungen ausgesprochen wurden, die mit sehr unterschiedlich hoher metabolischen Belastung der Arbeitsmuskulatur verbunden waren. In der laktatgesteuerten Trainingsgruppe wurden Trainingsempfehlungen ausgesprochen, bei denen die metabolische Belastung im Mittel bei $1,8 \pm 0,2$ mmol/l Laktat lag (Minimum 1,3 mmol/l Laktat; Maximum 2,4 mmol/l Laktat). In der herzfrequenzgesteuerten Gruppe lag die metabolische Belastung bei der empfohlenen Trainingsintensität zwar im Mittel bei $2,6 \pm 0,8$ mmol/l Laktat, also im Mittel im durchaus vertretbaren Intensitätsbereich. Hier war, wie die hohe Standardabweichung zeigt, jedoch die Varianz der Laktatwerte (Minimum 1,2 mmol/l Laktat; Maximum 5,4 mmol/l Laktat) deutlich größer als in der laktatgesteuerten Gruppe. Ein Training mit einer zu hohen Laktatkonzentration ist für den Patienten nicht nur mit Unannehmlichkeiten, sondern insbesondere auch mit einem höheren kardialen Risiko verbunden. Bei ansteigender Belastung kommt es zu einem Anstieg der Plasmakatecholamine. Die Laktatleistungskurve verläuft praktisch parallel zur Plasmakatecholaminkurve und liefert damit Hinweise auf das kardiale Risiko unter Belastung (11;15;15;16;16-18). Durch die Bestimmung der Laktatleistungskurve zumindest bei der Eingangsuntersuchung, könnte die individuelle Herzfrequenz für das Training in Abstimmung mit der metabolischen Belastung festgelegt werden und dadurch das kardiale Risiko beim Training reduziert werden.

Die Ergebnisse zeigen andererseits, dass die von der American Heart Association (AHA) (19) empfohlene Regel 40 – 60% der Herzfrequenzreserve für die Trainingssteuerung in der kardiologischen Rehabilitation mit gewissen Einschränkungen sinnvoll angewandt werden kann. Die hohe Varianz der metabolischen Belastung in diesem Bereich zeigt jedoch gleichzeitig, dass es notwendig ist, insbesondere bei Patienten mit hoher symptomlimitierter kardialer Leistungsfähigkeit den Trainingszustand, spricht die Ausdauerleistungsfähigkeit, mit zu überprüfen. Wenn eine Laktatdiagnostik nicht möglich ist, sollte der Patient zumindest in der Anamnese nach regelmäßiger körperlicher Aktivität in den letzten 6 Monaten vor Rehabilitation in standardisierter Form gefragt werden. Dies würde ermöglichen, körperlich inaktive

Patienten zu identifizieren. Um eine zu hohe metabolische Belastung beim Training zu vermeiden, ist bei ihnen einer Trainingsempfehlung mit einem niedrigeren Prozentsatz der Herzfrequenzreserve (40-50%) empfehlenswert. Diese Methode wird jedoch immer ungenau bleiben.

Gemessen an den in der kardiologischen Rehabilitation üblichen Parametern (Watt_{max} und $\text{VO}_{2\text{peak}}$) zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit wurden in beiden Gruppen nur geringfügige Verbesserungen durch die Rehabilitation erzielt. In der Herzfrequenzgruppe wurde die $\text{VO}_{2\text{peak}}$ lediglich um 2% ($p=0,102$) und die Watt_{max} um 4% ($p<0,001$) gesteigert. In der Laktatgruppe wurde eine Erhöhung der $\text{VO}_{2\text{peak}}$ um 3% ($p<0,001$) und der Watt_{max} um 6% ($p<0,001$) festgestellt. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant. Bitzer et al. (20) konnten in ihrer bewerteten Literaturanalyse zur Entwicklung einer evidenzbasierten Leitlinie zur kardiologischen Rehabilitation in allen Interventionen einen Zugewinn der im Belastungstest erzielten maximalen Leistung bzw. der maximalen Sauerstoffaufnahme feststellen. Im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrollgruppe lag der Netto-Zugewinn zwischen 11% und 30% (durch ein fünf- bzw. sechswöchiges Ausdauertraining). Zu einem vergleichbaren Ergebnis (Verbesserung der $\text{VO}_{2\text{peak}}$ um 11-36%) kamen auch amerikanische Autoren in ihrer zusammenfassenden Beurteilung der möglichen Trainingseffekte einer kardiologischen Rehabilitationsmaßnahme auf die körperliche Leistungsfähigkeit (6). In den von ihnen zusammengefassten Studien waren jedoch die Trainingszeiträume mit 3 bis 6 Monaten deutlich länger, als diese in der Phase II Rehabilitation in Deutschland üblich sind. Ein Grund für die geringe Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit im Rahmen der OpErgo-Studie könnte die kurze Rehabilitationsdauer und die im Mittel mit $10,7 \pm 1,1$ geringe Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten sein. In einer Kölner Studie wurden während einer vierwöchigen ambulanten Rehabilitation im Mittel $18,4 \pm 1,9$ Trainingseinheiten auf dem Fahrradergometer absolviert. Hierdurch wurde im Mittel eine 15,8% Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit erzielt, gemessen an der maximal erreichten Ergometerleistung (Watt_{max}) (4). Ein Vergleich der Trainingshäufigkeit in beiden Studien ergibt, dass in der Kölner Studie relativ betrachtet 28% mehr Trainingseinheiten durchgeführt wurden als in der OpErgo-Studie. Dies könnte die höhere Effizienz des Trainings erklären. Die Zunahme der maximalen Leistungsfähigkeit alleine ist jedoch keine kritische Beurteilungsgröße für die Effektivität eines

Trainingsprogramms mit KHK Patienten, zumal sich mit einer höheren erreichten Wattzahl / bzw. VO_{2peak} lediglich die größere Bereitschaft des Patienten ausdrücken kann, näher an seine potentielle Leistungsgrenze heranzugehen. Die aus dem Leistungssport übernommene Laktatdiagnostik ist auch für KHK-Patienten eine objektive, von Motivation bzw. Ausbelastung sowie von medikamentösen Einflüssen (Beta-Rezeptorenblockern, Calciumantagonisten) weitestgehend unabhängige Methode zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit, und zur Objektivierung und Dokumentation von Trainingseffekten (4;11). In der Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve zeigt sich eine Reduzierung der anaeroben Energiebereitstellung für gleiche Belastung zugunsten aerober Stoffwechselprozesse. Die Sensibilität dieses Parameters bestätigt sich auch in der OpErgo-Studie bei der Auswertung der Leistung bei definierten Laktatwerten. Hauptzielparameter für die Beurteilung der Effizienz des Ergometertrainings in dieser Studie war die Leistung bei 2,5 mmol/l Laktat. Diese wurde in der Herzfrequenzgruppe um 10% ($p < 0,001$) und in der Laktatgruppe um 6% ($p < 0,001$) gesteigert. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

Da eine Verbesserung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit mit einer Verringerung der Laktatbildung für gleiche Belastungsintensität einhergeht, kann für beide Untersuchungsgruppen eine trainingsbedingte Zunahme der aeroben Leistungsfähigkeit als gesichert angesehen werden. Unterstützt wird diese Aussage durch die Beobachtung, dass die Herzfrequenz trotz erhöhter Leistung bei 2,5 mmol/l Laktat nicht erhöht, sondern sogar leicht reduziert war ($p = 0,03$). Dies ist ein Hinweis darauf, dass durch das Training ein ökonomisierender Effekt für das Herz- Kreislauf-System mit einer Senkung der Herzfrequenz für definierte Belastung erreicht wurde. Bei der Veränderung der Herzfrequenz bei definierten Laktatwerten konnten leichte Vorteile der Trainingseffizienz in der Laktatgruppe festgestellt werden.

Die Hypothese, dass durch die Belastungssteuerung mit Laktat eine höhere Effizienz zur Steigerung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit erzielt werden kann, konnte somit nicht bestätigt werden. Trotz der deutlich höheren Intensitäten in der Herzfrequenzgruppe konnte kein bedeutsamer Unterschied hinsichtlich der Trainingseffizienz in beiden Gruppen festgestellt werden. Da der Trainingsumfang, gemessen in Kalorienumsatz pro Trainingseinheit, in beiden Gruppen gleich gehalten wurde,

könnte dies als ein Hinweis darauf bewertet werden, dass Trainingsprogramme mit vergleichbarem Energieumsatz zu vergleichbaren Trainingseffekten führen, unabhängig von der Intensität der Belastung, zumindest in so kurzfristig angelegten Trainingsprogrammen wie in der OpErgo-Studie. Ergebnisse zahlreicher Untersuchungen bestätigen diese Annahme. In einer Untersuchung von Blumenthal et al. (21) führten zwei Gruppen von kardiologischen Patienten dreimal wöchentlich über drei Monate ein Training mit unterschiedlicher Intensität, 65-75% bzw. <45% der VO_{2peak} , durch. In beiden Gruppen kam es zu einer signifikanten Steigerung der VO_{2peak} , im Mittel um 11% durch ein Training mit höherer Intensität und um 14% durch ein Training mit niedriger Intensität. Der Unterschied zwischen den Gruppen war jedoch nicht signifikant. In einer Gruppe von 186 KHK-Patienten, die ein Jahr lang dreimal wöchentlich an einem Training teilnahm, untersuchten Jensen et al. (22) den mittel- und langfristigen Effekt von Trainingsprogrammen unterschiedlicher Intensität. Die Patienten trainierten mit einer Intensität von 50% bzw. von 85% der VO_{2peak} . Nach 6 Monaten war in beiden Gruppen eine vergleichbare Steigerung der VO_{2peak} zu beobachten. Nach einem Jahr wurde in beiden Gruppen eine weitere Verbesserung festgestellt. Diese war jedoch in der Gruppe, die mit einer höheren Intensität trainierte, etwas deutlicher (13% im Vergleich zu 9% in der niedrig dosierten Gruppe). In weiteren Studien konnten ebenfalls nach längeren Trainingszeiträumen größere Trainingseffekte in den Interventionsgruppen, die mit einer höheren Intensität als die entsprechenden Vergleichsgruppen trainierten, beobachtet werden (23-25).

Die Ergebnisse der OpErgo-Studie werfen weiter die Frage auf, ob bei einer höheren Trainingshäufigkeit innerhalb des Rehabilitationsprogramms deutlichere Unterschiede zwischen den Gruppen hätten herausgearbeitet werden können. In der oben erwähnten Kölner Studie (4) wurden während einer 4wöchigen ambulanten Rehabilitation im Mittel $18,4 \pm 1,9$ Trainingseinheiten auf dem Fahrradergometer absolviert. Hierdurch wurde die Leistung bei 2,5 mmol/l Laktat um 17% gesteigert, also eine deutlich größere Effizienz des Trainings erzielt im Vergleich zum Ergebnis der OpErgo-Studie. In zahlreichen Studien wurde der Einfluss der wöchentlichen Trainingshäufigkeit auf den Trainingseffekt bei Herzpatienten untersucht. Deren Ergebnisse zeigen, dass durch eine hohe Trainingshäufigkeit größere Trainingseffekte erzielt werden können (26). Bei zweimal täglichem Training an fünf Tagen der Woche konnten Nieuwland et al. (26) eine 35% Verbesserung der Leistung bei der

respiratorisch gemessenen anaeroben Schwelle (anaerobic threshold ; AT) feststellen. Im Vergleich dazu wurde bei einem zweimal wöchentlichen Training lediglich eine Erhöhung der Leistung bei AT um 12% erzielt. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass mit einer höheren Trainingshäufigkeit auch während einer dreiwöchigen Rehabilitationsmaßnahme größere Trainingseffekte hätten erzielt werden können. In Anlehnung an die Deutsche Leitlinie zur Rehabilitation von Patienten mit Herz-Kreislaufkrankungen und den oben erwähnten Studien scheint während der Phase II Rehabilitation eine möglichst hohe Trainingsfrequenz von fünf- bis siebenmal pro Woche zur Erzielung größtmöglicher Trainingseffekte als erstrebenswert (1). Dies kann u.a. durch tägliches Training an den Wochentagen, zusätzliches Training an den Wochenenden bzw. mehrfach tägliches Training erzielt werden. Die besondere Effektivität von mehrfach täglichem Training, auch für KHK-Patienten, ist durch wissenschaftliche Studien belegt (8;26).

1.7 Umsetzungen der Ergebnisse:

Die Ergebnisse bestätigen zunächst eine gute Anwendbarkeit der Herzfrequenz-reserve-Methode zur Festlegung der Trainingsintensität in der kardiologischen Rehabilitation. Gleichzeitig zeigt die hohe metabolische Belastung, die bei einzelnen Patienten mit der herzfrequenzbasierten Trainingsempfehlung verbunden war, dass diese Formel nicht unkritisch bei allen Patienten angewendet werden kann. Durch die zunehmende Anzahl von Patienten, die nach optimaler interventionellen und konservativen Therapie erst bei hoher Beanspruchung symptomatisch wird, gewinnt die Beurteilung nicht nur der kardial limitierten Belastungsgrenze, sondern auch des Trainingszustandes des Patienten zunehmend an Bedeutung. Hierzu bietet sich an, zumindest bei der Eingangsuntersuchung, die Laktatdiagnostik einzusetzen, um die Trainingsherzfrequenz auf der Basis metabolischer Parameter zu objektivieren. Die Ergebnisse der OpErgo-Studie bestätigen die Objektivität der Laktatdiagnostik für die Beurteilung und Dokumentation der Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit während der Rehabilitation. Durch Veränderungen der Laktatleistungskurve lassen sich selbst geringe Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit nachweisen.

Aufgrund der besonderen Bedeutung der körperlichen Leistungsfähigkeit nicht nur für die Prognose (28-30), sondern auch für die Teilhabe des Patienten, sollte das Ergometertraining als die effektivste Trainingsmethode einen besonderen Stellenwert im Rehabilitationsplan erhalten. In Anlehnung an die Deutsche Leitlinie zur Rehabilitation von Patienten mit Herz-Kreislaufkrankungen ist eine möglichst hohe Trainingsfrequenz von fünf- bis siebenmal pro Woche zur Erzielung größtmöglicher Trainingseffekte erstrebenswert (1). Im Sinne der Nachhaltigkeit sollte während der Rehabilitation jeder Patient eine gezielte Anleitung und Motivation zur Fortführung des Trainings z.B. im Rahmen einer Ambulanten Herzgruppe bekommen.

Der bei dieser Untersuchung erhobene Datensatz ermöglicht den Vergleich der verschiedenen in der Praxis angewandten Methoden zur Trainingssteuerung hinsichtlich der daraus resultierenden Trainingsempfehlungen sowie der damit verbundenen metabolischen Belastung. Durch eine weitere Auswertung der erhobenen Daten, unabhängig von den in der Untersuchung zu überprüfenden Hypothesen, können weitere wertvolle Informationen für die Trainingssteuerung in der kardiologischen Rehabilitation gewonnen werden. Diese zusätzliche Auswertung wird derzeit vorbereitet.

Literaturliste:

1. 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-III/1-III/54.
2. Taylor RS, Brown A, Ebrahim S, Jolliffe J, Noorani H, Rees K, 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;116:682-92.
3. Jolliffe JA, Rees K, Taylor RS, Thompson D, Oldridge N, Ebrahim S. Exercise-based rehabilitation for coronary heart disease. Cochrane Database Syst.Rev.Update 2001;(1): CD001800:Update Software.
4. Bjarnason-Wehrens B, Predel HG, Graf C, Gunther D, Rost R. Änderung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch ein vierwöchiges kardiales Rehabilitationsprogramm der Phase II. Z Kardiol 1999;88:113-22.

5. Karmisholt K, Gotzsche PC. Physical activity for secondary prevention of disease. Systematic reviews of randomised clinical trials. *Dan Med Bull* 2005;52:90-4.
6. 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;111:369-76.
7. Ades PA, Savage PD, Brawner CA, Lyon CE, Ehrman JK, Bunn JY, Keteyian SJ. Aerobic capacity in patients entering cardiac rehabilitation. *Circulation* 2006;113:2706-12.
8. Hambrecht R, Walther C, Mobius-Winkler S, Gielen S, Linke A, Conradi K, Erbs S, Kluge R, Kendziorra K, Sabri O, et al. Percutaneous coronary angioplasty compared with exercise training in patients with stable coronary artery disease: a randomized trial. *Circulation* 2004;109:1371-8.
9. Dugmore LD, Tipson RJ, Phillips MH, Flint EJ, Stentiford NH, Bone MF, Littler WA. Changes in cardiorespiratory fitness, psychological wellbeing, quality of life, and vocational status following a 12 month cardiac exercise rehabilitation programme. *Heart* 1999;81:359-66.
10. Belardinelli 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;37:1891-900.
11. Heitkamp HC, Hipp A. Laktat in der kardialen Rehabilitation. *Herz* 2001;26:447-53.
12. Trappe HJ, Lollgen H. Leitlinie zur Ergometrie. Deutsche Gesellschaft für Kardiologie. *Z Kardiol* 2000 ;89:821-31.
13. Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG. Edt. *Human Body Composition*. Champaign, Human Kinetics; 1996.
14. Dwyer J. Metabolic character of exercise at traditional training intensities in cardiac patients and healthy persons. *J Cardiopulm Rehabil*

1994;14:189-96.

15. Urhausen A, Spieldenner J, Gabriel H, Schwarz L, Schwarz M, Kindermann W. Cardiocirculatory and metabolic strain during rowing ergometry in coronary patients. *Clin Cardiol* 1994;17:652-6.
16. Dickhuth HH, Niess AM, Rocker K, Heitkamp HC. Die Bedeutung der körperlichen Aktivität für die physiologische Streßreaktion. *Z Kardiol* 1999;88:305-14.
17. Dickhuth HH, Yin L, Niess A, Rocker 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;20:122-7.
18. 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;13:562-6.
19. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, Eckel R, Fleg J, Froelicher VF, Leon AS, Pina IL, Rodney R, et al. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation* 2001;104:1694-740.
20. Bitzer EM, Aster-Schenck IU, Klosterhuis H, Dorning H, Rose S. Entwicklung einer evidenzbasierten Leitlinie zur kardiologischen Rehabilitation - Phase 1: Bewertende Literaturanalyse. *Rehabilitation (Stuttg)* 2002;41:226-36.
21. 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;61:26-30.
22. Jensen BE, Fletcher BJ, Rupp JC, Fletcher GF, Lee JY, Oberman A. Training level comparison study. Effect of high and low intensity exercise on ventilatory threshold in men with coronary artery disease. *J Cardiopulm Rehabil* 1996;16:227-32.
23. Goble AJ, Hare DL, Macdonald PS, Oliver RG, Reid MA, Worcester MC. Effect of early programmes of high and low intensity exercise on physical performance after transmural acute myocardial infarction. *Br Heart J* 1991;65:126-31.

24. 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;15:269-76.
25. Rognmo O, Hetland E, Helgerud J, Hoff J, Slordahl 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;11:216-22.
26. Nieuwland W, Berkhuisen MA, van Veldhuisen DJ, Brugemann J, Landsman ML, van Sonderen E, Lie KI, Crijns HJ, 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;36:202-7.
27. Tygesen H, Wettervik C, Wennerblom B. Intensive home-based exercise training in cardiac rehabilitation increases exercise capacity and heart rate variability. *Int J Cardiol* 2001;79:175-82.
28. 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;106:666-71.
29. 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;42:2139-43.
30. 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;346:793-801.

1.8 Publikationsliste:

Bott, D., Busch, C., Abel, T., Sahin, K., Kohlmeyer, M., Seifert, A., Mayer-Berger, W., Bjarnason-Wehrens, B.: Optimierung der Intensitätssteuerung des Ergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation – Erste Ergebnisse der OpErgo-Studie - Vortrag beim 17. Rehabilitationswissenschaftlichen Kolloquium, Bremen, 03. bis 05. März 2008

Bott, D., Busch, C., Abel, T., Sahin, K., Kohlmeyer, M., Seifert, A., Mayer-Berger, W., Bjarnason-Wehrens, B.: Effects of a 3 week exercise training program on a bicycle

ergometer during phase II cardiac rehabilitation programm: comparison of two different methods of determining the individual exercise intensity - Abstract Supplement EuroPREvent Congress Paris, 1-3 May 2008, EJCPR (May 2008) S104 (462)

Bott, B., Busch, C., Abel, T., Sahin, K., Kohlmeyer, M., Seifert, A., Nebel, R., Mayer-Berger, W., Bjarnason-Wehrens, B.: Vergleich zweier Methoden zur Intensitätssteuerung des Ergometertrainings in der kardiologischen Rehabilitation – erste Ergebnisse der OpErgo-Studie – Abstracts, herzmedizin 25 (2008) Nr. 2; 91