

Körperliche Leistungsfähigkeit regelmäßig trainierender, älterer Patienten im Vergleich zur Normalpopulation

Physical Performance of Older Patients Training Regularly: Comparison with a Normal Population

Autoren

R. Ewert, A. Obst, O. Gürtler, B. Koch, S. Gläser, T. Bollmann

Institut

Universitätsmedizin Greifswald, Klinik für Innere Medizin B, Greifswald

eingereicht 14.4.2014
akzeptiert nach Revision
19.5.2014

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0034-1377307>
Online-Publikation: 8.7.2014
Pneumologie 2014; 68: 547–556
© Georg Thieme Verlag KG
Stuttgart · New York
ISSN 0934-8387

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Ralf Ewert
Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald, Universitätsmedizin
Klinik für Innere Medizin B,
Bereich Pneumologie/
Infektiologie
F.-Sauerbruch-Straße
17475 Greifswald
ewert@uni-greifswald.de

Zusammenfassung

Es wurde in den letzten Jahren mehrfach gezeigt, dass die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter sinkt. Auf der anderen Seite stellt die Leistungsfähigkeit im Sinne der Fitness einen wesentlichen Prognosefaktor dar. Somit wird verständlich, dass dem Erhalt bzw. der Wiederherstellung der Fitness im Rahmen der Rehabilitation ein großer Stellenwert beigemessen wird.

Wir haben 35 regelmäßig trainierende Probanden im Alter von 58–78 Jahren spiroergometrisch hinsichtlich ihrer Fitness untersucht und gegenüber gematchten Kontrollen aus einer Bevölkerungsstudie keine signifikanten Leistungsunterschiede nachweisen können. Zusätzlich haben wir die Sauerstoffkinetik mittels eines Stufenfestes mit einer Last im aeroben Bereich bestimmt, um eine einfache Methode zur Erfassung der Fitness unter Alltagsbedingungen zu evaluieren. Überraschend zeigte die von uns gewählte Methode jedoch keine klinisch relevante Beziehung zwischen der Sauerstoffkinetik und der Fitness der Probanden.

Einleitung

Es stellt ein allgemein anerkanntes Phänomen dar, dass die körperliche Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter geringer wird. Dieses konnte jüngst wieder in der „Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland“ belegt werden [1]. In diese Studie wurden 8152 Personen zwischen 18 und 79 Jahren eingeladen, welche repräsentativ für die Wohnbevölkerung Deutschlands waren. Bei einer Teilpopulation von 2827 Personen im Alter von 18–64 Jahren konnte die kardiopulmonale Fitness anhand eines submaximalen Belastungstestes auf dem Fahrradergometer gemessen werden. Ein wesentliches Ergebnis bestand darin, dass sich die Leistung pro Altersdekade

Abstract

Previous studies indicate that physical performance, being a relevant prognostic parameter for cardiovascular events and mortality, decreases with age. Thus, the maintenance and restoration of physical performance as part of a rehabilitation program is of great interest.

In the present study, 35 physically active participants, aged 58–78 years, were investigated by cardiopulmonary exercise testing. In comparison to matched participants drawn from an epidemiological study, there was no significant difference in performance between the two groups. Additionally, oxygen kinetics were incrementally measured in order to evaluate a fairly simple procedure for determining fitness under activities of daily life. Surprisingly, this method did not reveal any clinically relevant association between oxygen kinetics and physical fitness.

um 4,2% bei Männern und um 4,8% bei Frauen reduzierte. In einer früheren australischen Untersuchung mit 1043 Personen im Alter von 18–78 Jahren konnte mit vergleichbarer Methodik ein etwa doppelt so großer Abfall der Leistung pro Altersdekade dokumentiert werden [2]. Anhand eigener Daten konnten wir in einer Bevölkerungsstudie „Study of Health in Pommerania“ (SHIP) auch einen Abfall der Leistung mit zunehmendem Alter bestätigen [3].

Dieses ist insofern bemerkenswert, da die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit seit langem als ein wesentlicher Prognosefaktor bekannt ist [4–6]. Dieser Sachverhalt wurde durch eine Studie mit 26000 Probanden im Alter von 18–83 Jahren während einer mittleren Beobachtungszeit von

mehr als 10 Jahren nochmals bestätigt. In dieser Untersuchung wurde eine Assoziation zwischen kardiorespiratorischer Leistungsfähigkeit und dem Auftreten von kardiovaskulären Ereignissen aufgezeigt [7]. Folgerichtig geht eine erhöhte tägliche körperliche Aktivität (gemessen anhand des Energieverbrauchs) mit einer reduzierten Sterblichkeit einher, was bei 70–82-jährigen Personen nachgewiesen wurde [8].

Vor diesem Hintergrund wird verständlich, dass die bereits zu Zeiten Hippokrates' (460–377 v. C.) propagierte körperliche Erüchtigung eine wesentliche Voraussetzung für das Erreichen eines hohen Alters darstellt. Dieses trifft umso mehr dann zu, wenn bereits kardiovaskuläre Risikofaktoren bzw. kardiorespiratorische Erkrankungen vorliegen [5]. Daher wird im Rahmen der Primär- bzw. Sekundärprävention sowie der Therapie chronischer Erkrankungen der langfristigen Rehabilitation ein hoher Stellenwert beigemessen. Beispielgebend ist die kardiologische Rehabilitation, deren primäres Ziel es ist, den Verlauf und die Prognose der zugrundeliegenden Erkrankung positiv zu beeinflussen. Als sekundäre Ziele werden die „Verbesserung der symptomfreien körperlichen Belastbarkeit, die Überwindung des entstandenen kardiovaskulären und muskuloskelettalen Funktionsverlustes, die psychologische Stabilisierung und soziale Wiedereingliederung sowie die positive Beeinflussung kardiovaskulärer Risikofaktoren“ genannt [9]. Für die Steuerung des Trainings im Rahmen der Rehabilitation, aber auch zur Bewertung der Ergebnisse der verschiedenen rehabilitativen Maßnahmen werden zunehmend spiroergometrische Parameter herangezogen (u.a. Spitzen-Sauerstoffaufnahme, VO_{2peak} sowie die Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle, $VO_{2@AT}$). Statt dieser globalen Messwerte kann auch die sog. „Sauerstoffkinetik“ zur Beschreibung der aeroben Fitness genutzt werden. Das lange bekannte theoretische Grundkonzept besteht darin, aus einer kurzen konstanten Belastung unterhalb der anaeroben Schwelle (hier folgt die Sauerstoffkinetik einer einfachen Exponentialfunktion [10, 11]) Aussagen zur Belastbarkeit bzw. der Veränderungen dieser nach unterschiedlichen Interventionen abzuleiten. Zur methodischen Umsetzung und klinischen Anwendung dieses Konzepts existiert eine Vielzahl von Studien. Bei gesunden Probanden [12–15] wurden vorrangig methodische Untersuchungen durchgeführt und Normwerte [16] ermittelt.

Gegenstand unserer Untersuchung waren folgende Fragen: 1) Unterscheiden sich spiroergometrische Befunde der Probanden eines strukturierten Rehabilitationsprogrammes von denen gleichaltriger Normalpersonen? Und 2) Korreliert die Erfassung der „Sauerstoffkinetik“ zu Beginn der Belastung bei diesen Probanden mit Parametern der Sauerstoffaufnahme?

Methodik

Probanden: Es wurden Patientinnen/-en aus einem seit Jahren etablierten ambulanten Rehabilitationsprogramm zur Teilnahme an der Untersuchung eingeladen. Unter dem Dach des „Rehasportvereins Greifswald e.V.“ führen die Patienten ein strukturiertes Kraft-Ausdauertraining an Geräten durch, wobei die Art und Intensität (Last/Wiederholungen) protokolliert wird. Weitere sportliche Aktivitäten im Sinne von Wandern bzw. alltäglichen Maßnahmen (z.B. Gartenarbeit, Radfahren) werden zusätzlich in Eigenregie durchgeführt. Die Charakterisierung der Probanden und der Trainingsintensität wird in der **Tab. 1** dargestellt. Die von uns in die Untersuchung eingeschlossenen Probanden waren 70 (Spanne 58 bis 78) Jahre alt und zeigen ein deutliches Über-

wiegen des männlichen Geschlechts. Der Body Mass Index (BMI in kg/m^2) lag bei 25,3. Über die Laborwerte konnte eine manifeste Anämie, eine gestörte renale Funktion bzw. in Kombination mit der klinischen Untersuchung eine manifeste Herzinsuffizienz bei allen Probanden ausgeschlossen werden.

Ein regelmäßiges Training wurde zum Zeitpunkt der Studie bereits über 36 Monate mit 2,5 Stunden/Woche durchgeführt. Bei den Indikationen zur Aufnahme des Trainings wurden kardiovaskuläre Erkrankungen, muskuloskelettale Störungen und altersbedingte Inaktivität („Alterstraining“) von den Probanden am häufigsten genannt. Der Charlson-Index [17] zeigte eine geringe Komorbidität der Probanden. Die Probanden waren Nichtraucher, wobei ein Proband (Nr. 18) seit 25 Jahren Ex-Raucher ist. Betablocker wurden lediglich von 13/35 Probanden eingenommen. **Kontrollen:** Die Kontrollgruppe wurde aus einer repräsentativen Bevölkerung aus Norddeutschland gewonnen [18] und erfolgte mit einem Matchingverhältnis von 1:4. Die Matching-Kriterien waren das Alter, das Geschlecht und die körperliche Fitness. Insgesamt wurden 130 Kontrollen ausgewählt.

Klinische und apparative Untersuchungen: Bei allen Probanden wurde eine Anamnese sowie eine klinische Untersuchung durchgeführt, wobei der Fokus auf der Erkennung von Kontraindikationen zur Durchführung der Spiroergometrie lag. Im Weiteren erfolgte eine komplette Lungenfunktionsdiagnostik inkl. Blutgasanalyse (**Tab. 2**). Die lungenfunktionellen Befunde zeigten nur bei zwei Probanden eine obstruktive Ventilationsstörung ($FEV_1/FVC < 70\%$), wobei in einem Fall eine chronisch obstruktive Lungenerkrankung bekannt war. In drei Fällen wurde eine restriktive Ventilationsstörung (VC bzw. $TLC < 80\%$ der Norm) dokumentiert. Die globale ($DLCO < 80\%$ der Norm) bzw. volumenkorrigierte ($KCO < 80\%$ der Norm) Diffusionskapazität war bei fünf bzw. zwei Probanden eingeschränkt.

Spiroergometrie: Nach schriftlicher Aufklärung und Einverständniserklärung wurden die Probanden auf einem elektromagnetisch gesteuerten Fahrradergometer in aufrecht sitzender Position (Ergoselect 200, Ergoline, Deutschland) entsprechend eines speziellen Protokolls (s.u.) untersucht. Gasaustausch und Ventilation wurden „breath by breath“ mit einer Gasanalyseeinheit (Innocor, Fa. Innovision, Odense, Dänemark) bestimmt. Die Registrierung des Zwölfkanal-EKGs und der Pulsoxymetrie erfolgten kontinuierlich, und alle 2 Minuten wurde der Blutdruck gemessen (Padsy–Ergo, Medset Medizintechnik GmbH). Die spiroergometrische Untersuchung bestand aus zwei Abschnitten:

1. Zur Erfassung der „Sauerstoffkinetik“ wurde bei dem ruhig sitzenden Probanden eine 3–5-minütige Ruhephase mit Erreichen einer stabilen Sauerstoffaufnahme (VO_2) durchgeführt (Baseline 1). Dann wurde mit dem Treten ohne Last begonnen und nach fünf Minuten die VO_2 ermittelt (Baseline 2). Anschließend folgte eine Belastung mit 25 Watt, und nach fünf Minuten wurde wieder die VO_2 dokumentiert (Baseline 3).
2. Nach einer Ruhephase von fünf Minuten im Sitzen auf dem Fahrrad wurde eine symptomlimitierte Belastung nach einem modifizierten JONES Protokoll (20 Watt in der ersten Minute, dann minutenweise Steigerung um 16 Watt) durchgeführt [19]. Die Trittfrequenz konnte in beiden Abschnitten individuell gewählt werden, wobei der Wert von 50 Umdrehungen/Minute nicht unterschritten wurde. Die Gasanalyse erfolgte bei der symptomlimitierten Belastung mit einer Mittelung von 30 Sekunden.

Tab. 1 Charakterisierung der Probanden.

Proband	Alter	Geschlecht	Größe	Gewicht	BMI	Hb	GFR	NT pro BNP	Training	Einheiten/Woche	Charlson-Index	Indikation	Betablocker
	in Jahren				kg/m ²	mmol/l	ml/min	pg/ml	in Monaten	> 1 Stunde			ja = 1
1	72	m	178	80	25,2	8,2	>60	295,0	36	3	0	Zustand nach Hüft-TEP links	1
2	74	w	165	75	27,5	8,7	>60	73,0	12	3	0	Alterstraining	0
3	75	w	167	60	21,5	8,2	>60	242,0	12	1	2	Tumorerkrankung	0
4	63	m	172	74	25,0	9,5	>60	39,0	120	2	0	Alterstraining	0
5	63	w	169	73	25,6	8,2	>60	152,0	168	5	0	Alterstraining	1
6	71	m	193	70	18,8	8,6	>60	126,0	120	7	1	KHK-1	0
7	60	m	175	98	32,0	9,7	>60	41,0	24	2	0	Alterstraining	1
8	63	m	187	92	26,3	10,6	>60	47,0	12	3	0	Alterstraining	0
9	61	m	180	94	29,0	9,7	>60	77,0	244	4	1	COPD	0
10	78	m	178	76	24,0	9,9	>60	200,0	36	2	1	Cerebrovaskuläre Erkrankung	0
11	73	w	157	54	21,9	8,8	>60	260,0	12	2	0	Alterstraining	1
12	68	w	169	70	24,5	9,2	>60	181,0	24	2	0	Alterstraining	0
13	62	m	185	93	27,2	9,4	>60	65,0	12	2	0	Alterstraining	0 ¹
14	70	m	174	83	27,4	9,1	>60	106,0	96	3	0	Alterstraining	0
15	76	m	178	70	22,1	9,1	>60	313,0	36	3	2	Tumorerkrankung	1
16	61	m	184	77	22,7	8,9	>60	28,0	240	2	1	Alterstraining	1
17	75	m	169	76	26,6	9,1	>60	57,0	96	3	0	Alterstraining	0
18	68	m	178	95	30,0	8,7	50,0	103,0	164	2	2	KHK; Bypass-OP 1998	1
19	74	m	177	98	31,3	9,6	>60	95,0	24	3	1	KHK; Myocardinfarkt	1
20	70	m	175	75	24,5	10,1	>60	356,0	3	3	1	KHK; Myocardinfarkt	1
21	73	m	173	73	24,4	7,8	>60	103,0	24	4	1	Ulkuskrankheit	0
22	71	m	186	93	26,9	9,2	>60	216,0	24	2	0	Alterstraining	0
23	70	w	163	67	25,2	8,5	>60	233,0	108	2	0	Muskuloskeletale Störungen	1
24	71	m	163	79	29,7	9,8	>60	46,0	24	2	0	Alterstraining	0
25	76	m	172	76	25,7	9,6	>60	117,0	3	2	0	Alterstraining	1
26	58	m	170	84	29,1	10,0	>60	66,0	9	2	1	Hüft-TEP	0
27	61	w	172	64	21,6	8,4	>60	96,0	12	4	0	Alterstraining	0
28	63	m	173	68	22,7	8,9	>60	309,0	60	2	3	KHK; Myocardinfarkt	1
29	72	m	175	70	22,9	8,7	>60	226,0	36	3	1	cerebrovaskuläre Erkrankung	0
30	68	w	160	58	22,7	8,5	>60	162,0	36	4	0	Alterstraining	0
31	68	w	162	74	28,2	9,0	57,0	170,0	36	2	0	Alterstraining	1
32	71	m	180	84	25,9	8,8	52,0	167,0	36	2	0	Alterstraining	0
33	59	m	187	98	28,0	9,3	>60	8,0	38	5	0	Alterstraining	0
34	64	m	180	82	25,3	9,9	k.A.	84,0	192	3	0	Alterstraining	0
35	60	m	173	70	23,4	8,8	>60	33,0	144	2	0	Alterstraining	0

Abkürzungen: BMI, Body Mass Index; Hb, Hämoglobin; GFR, glomeruläre Filtrationsrate; k.A., keine Angabe

¹ Bradykardieneigung

Tab. 2 Lungenfunktionelle Befunde der Probanden.

Proband	Alter	Geschlecht	VC/l	VC/l %	TLC/l	TLC/l %	FVC/l	FVC/l %	FEV ₁ /l	FEV ₁ /l %	FEV ₁ /FVC %	PEF l/sec	PEF %	Rtot %	RV/l	RV/%	RV/TLC %	RV/TLC	TLCO	TLCO mmol/min/	KPa	TLCO %	KCO	KCO mmol/min/	KPa/l	KCO %	PaO ₂	PaO ₂ mmHg	PaCO ₂	PaCO ₂ mmHg	SaO ₂ %
1	72	m	4,0	94,0	6,5	90,0	3,9	96,0	3,1	100,0	80,0	8,9	111,0	59,0	2,5	93,0	39,0	93,0	7,4	7,4	93,0	93,0	1,2	94,0	1,2	94,0	56,0	45,4	90,7		
2	74	w	2,2	86,0	5,0	98,0	2,1	84,0	1,7	83,0	81,0	5,8	100,0	105,0	2,9	132,0	57,0	130,0	5,6	5,6	130,0	78,0	1,3	94,0	1,3	94,0	86,1	36,5	97,7		
3	75	w	2,1	84,0	4,1	79,0	2,0	77,0	1,5	70,0	75,0	3,5	61,0	160,0	2,0	90,0	49,0	109,0	5,4	5,4	109,0	75,0	1,2	88,0	1,2	88,0	81,7	32,8	97,1		
4	63	m	5,2	127,0	6,5	98,0	5,0	127,0	3,9	127,0	78,0	8,1	102,0	85,0	1,3	55,0	20,0	53,0	9,0	9,0	53,0	101,0	1,6	122,0	1,6	122,0	75,9	38,7	95,6		
5	63	w	4,3	143,0	5,2	97,0	4,1	137,0	3,3	132,0	81,0	8,5	134,0	114,0	0,9	44,0	19,0	44,0	7,1	7,1	44,0	88,0	1,3	85,0	1,3	85,0	77,3	33,3	96,1		
6	71	m	4,0	78,3	8,5	101,5	3,9	79,3	3,3	87,9	84,3	8,7	97,7	68,5	4,2	146,0	49,3	118,4	7,4	7,4	118,4	69,0	1,2	93,3	1,2	93,3	72,2	38,6	95,2		
7	60	m	5,0	114,0	6,9	99,0	4,8	113,0	3,7	110,0	77,0	7,6	90,0	116,0	1,9	77,0	27,0	72,0	10,5	10,5	72,0	110,0	1,6	118,0	1,6	118,0	72,5	34,7	93,2		
8	63	m	5,4	109,5	9,7	123,4	5,8	120,9	4,5	121,3	77,8	11,7	132,1	53,2	3,9	150,0	40,6	104,4	10,3	10,3	104,4	97,8	1,3	94,9	1,3	94,9	65,8	33,1	95,3		
9	61	m	4,8	105,1	9,3	127,7	4,9	132,3	1,8	51,5	42,1	4,8	56,0	70,6	4,4	175,9	47,4	123,0	5,4	5,4	123,0	54,9	0,6	48,0	0,6	48,0	k.A.	k.A.	94,0		
10	78	m	2,9	72,0	6,7	93,0	2,9	74,0	2,0	68,0	69,0	4,0	52,0	185,0	3,8	133,0	56,0	127,0	7,6	7,6	127,0	88,0	1,5	121,0	1,5	121,0	61,6	38,8	93,3		
11	73	w	2,0	89,0	4,3	93,0	1,9	84,0	1,4	75,0	73,0	3,7	68,0	153,0	2,3	116,0	54,0	125,0	8,6	8,6	125,0	130,0	1,7	117,0	1,7	117,0	65,4	34,5	93,4		
12	68	w	3,4	115,0	6,3	117,2	3,7	130,2	2,6	109,2	70,5	4,6	74,2	98,2	2,6	121,3	41,4	98,5	9,3	9,3	120,4	120,4	1,6	113,6	1,6	113,6	73,8	36,5	96,3		
13	62	m	5,1	109,0	6,8	88,0	4,6	102,0	4,3	125,0	94,0	11,5	135,0	65,0	1,7	62,0	25,0	60,0	13,5	13,5	136,0	136,0	1,7	129,0	1,7	129,0	72,9	33,4	96,3		
14	70	m	4,0	99,6	6,5	94,6	4,4	114,6	3,7	124,8	83,2	9,8	125,3	40,8	2,0	75,1	30,4	72,9	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	97,0		
15	76	m	3,8	94,0	4,4	61,0	3,7	93,0	3,0	102,0	83,0	7,3	94,0	133,0	0,5	19,0	12,0	28,0	9,0	9,0	28,0	103,0	1,6	128,0	1,6	128,0	63,9	41,5	93,4		
16	61	m	5,5	112,1	8,6	113,1	5,6	119,9	4,4	120,9	78,9	8,2	93,1	35,5	3,0	119,6	35,0	92,8	9,6	9,6	92,8	92,7	1,3	94,8	1,3	94,8	k.A.	k.A.	94,0		
17	75	m	4,0	113,5	5,9	91,4	4,3	124,0	3,4	128,9	78,5	5,3	73,1	77,0	1,6	60,7	27,2	63,0	7,8	7,8	80,7	80,7	1,1	92,0	1,1	92,0	k.A.	k.A.	97,0		
18	68	m	4,3	101,2	7,1	98,9	4,3	106,1	3,6	116,4	83,8	10,0	124,9	44,5	2,6	99,2	37,4	89,8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	95,0		
19	74	m	4,8	118,0	7,2	102,0	4,5	114,0	3,5	117,0	78,0	10,1	128,0	70,0	2,4	89,0	33,0	78,0	10,6	10,6	78,0	120,0	1,4	113,0	1,4	113,0	69,2	39,9	94,6		
20	70	m	4,0	98,0	6,3	91,0	3,9	99,0	3,0	98,0	76,0	7,6	96,0	98,0	2,3	88,0	36,0	88,0	8,5	8,5	88,0	97,0	1,3	103,0	1,3	103,0	56,5	35,0	93,1		
21	73	m	4,0	103,0	7,6	113,0	4,0	106,0	3,0	106,0	76,0	7,3	96,0	76,0	3,6	138,0	48,0	113,0	9,2	9,2	113,0	109,0	1,3	109,0	1,3	109,0	74,2	37,2	95,6		
22	71	m	3,3	69,0	5,6	71,0	3,1	69,0	2,7	78,0	86,0	8,3	97,0	79,0	2,3	83,0	41,0	99,0	7,4	7,4	99,0	74,0	1,4	109,0	1,4	109,0	79,3	37,6	96,2		
23	70	w	3,0	118,0	4,9	98,0	2,8	110,0	2,1	101,0	72,0	6,2	107,0	106,0	1,9	93,0	40,0	92,0	6,7	6,7	94,0	94,0	1,4	96,0	1,4	96,0	79,6	38,1	96,6		
24	73	m	2,9	110,8	5,9	118,1	2,7	109,1	2,4	114,4	87,1	7,3	126,6	100,8	3,0	142,4	50,7	117,5	6,7	6,7	117,5	93,5	1,5	106,0	1,5	106,0	87,6	31,3	97,5		
25	76	m	3,5	93,7	7,4	111,3	3,9	108,4	3,1	114,4	79,4	6,8	91,7	43,1	3,5	130,6	47,5	108,9	8,7	8,7	107,4	107,4	1,4	118,3	1,4	118,3	k.A.	35,0	95,0		
26	58	m	4,4	107,4	6,2	95,4	4,3	110,1	3,9	126,1	90,9	8,0	99,2	64,9	1,7	72,4	26,8	72,5	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	96,0		
27	61	w	3,9	123,0	6,3	114,0	3,8	121,0	3,0	112,0	79,0	6,6	101,0	70,0	2,5	118,0	39,0	98,0	7,8	7,8	98,0	94,0	1,3	88,0	1,3	88,0	74,8	32,3	95,3		
28	63	m	3,0	72,5	5,8	85,9	3,4	86,5	2,2	73,0	65,7	7,1	88,7	76,5	2,2	89,5	38,1	97,0	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	97,0		
29	72	m	4,5	112,0	7,0	101,0	4,2	108,0	3,4	114,0	81,0	10,0	128,0	78,0	2,5	94,0	36,0	85,0	7,3	7,3	84,0	84,0	1,1	90,0	1,1	90,0	65,0	36,7	93,2		
30	68	w	3,2	134,0	5,7	120,0	3,1	126,0	2,2	106,0	70,0	5,1	90,0	122,0	2,5	125,0	44,0	104,0	5,9	5,9	104,0	84,0	1,2	80,0	1,2	80,0	84,6	28,0	97,5		
31	68	w	3,3	131,0	3,9	80,0	3,1	124,0	2,4	116,0	78,0	5,3	92,0	146,0	0,6	118,0	16,0	39,0	6,2	6,2	39,0	87,0	1,3	89,0	1,3	89,0	69,4	32,1	94,8		
32	71	m	5,1	115,7	7,4	98,3	5,1	120,0	4,3	133,4	84,6	11,8	143,7	29,2	2,2	80,5	30,1	71,5	8,8	8,8	93,7	93,7	1,3	105,4	1,3	105,4	65,6	37,8	93,1		
33	59	m	5,0	97,5	8,0	101,8	5,3	109,7	4,4	114,7	81,8	8,9	97,8	68,5	2,7	104,6	33,2	88,9	10,9	10,9	101,0	101,0	1,6	113,2	1,6	113,2	74,2	33,1	96,2		
34	64	m	5,0	141,7	9,0	147,4	5,4	160,8	3,7	129,0	68,1	5,1	75,3	64,1	3,6	153,8	39,7	95,8	8,1	8,1	92,6	92,6	1,1	78,2	1,1	78,2	k.A.	k.A.	97,0		
35	60	m	4,8	116,0	8,0	117,9	4,9	122,4	3,8	121,0	77,7	8,1	99,3	44,0	3,0	123,1	37,2	97,4	8,8	8,8	96,8	96,8	1,2	86,7	1,2	86,7	k.A.	k.A.	96,0		

Abkürzungen: m, männlich; w, weiblich; VC, Vitalkapazität; TLC, totale Lungenvolumenkapazität; FVC, forcierte Vitalkapazität; FEV₁, forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde; PEF, expiratorischer Spitzenfluss; Rtot, totale Resistance; RV, Residualvolumen; TLCO globale Diffusionskapazität für Kohlendioxid; KCO volumenkorierte Diffusionskapazität für Kohlenmonoxid; PaO₂ Partialdruck für Sauerstoff; PaCO₂ Partialdruck für Kohlendioxid; SaO₂ kapilläre Sauerstoffsättigung; k.A., keine Angabe.

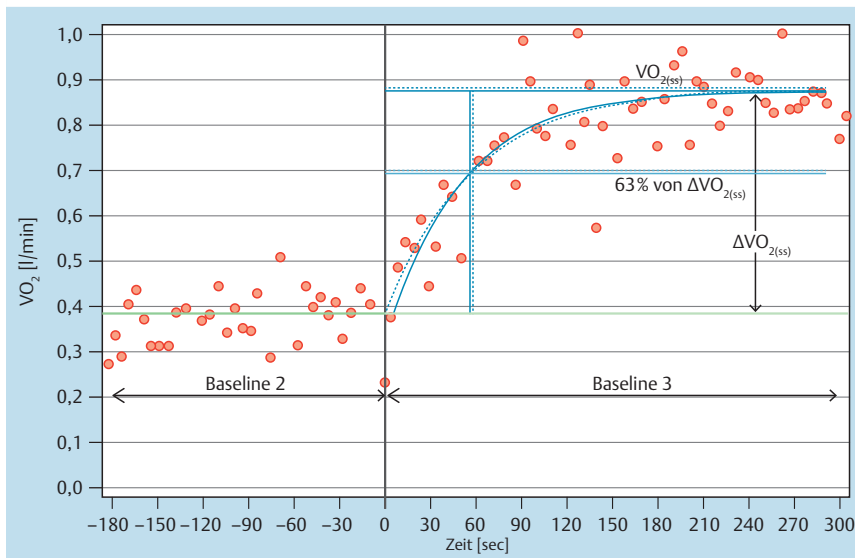


Abb. 1 Schematische Darstellung der Messung der Sauerstoffkinetik
 Baseline 2: Treten ohne Last; Baseline 3: Belastungssteigerung auf 25 Watt; durchgehende Linie $\Delta VO_{2(t)} = \Delta VO_{2(ss)} \times (1 - e^{-(t-\delta)/\tau VO_2})$; gepunktete Linie $\Delta VO_{2(t)} = \Delta VO_{2(ss)} \times (1 - e^{-(t-\delta)/\tau VO_2})$, wobei $\delta = 0$; $\Delta VO_{2(ss)}$ ist die Differenzen der stabiler Sauerstoffaufnahme in der Ruhephase (Baseline 2) und der Sauerstoffaufnahme im steady-state in ml/min; δ ist die Zeitverzögerung; τ ist die Zeitkonstante der Antwort der Sauerstoffaufnahme in Sekunden.

Zur Auswertung der Sauerstoffkinetik wurden die Rohdaten exportiert und mittels SAS 9.3 Software (SAS Institute Inc., Cary, NC) bearbeitet. Zur Bestimmung der Sauerstoffkinetik wählten wir den Übergang von der Baseline 2 zu 3, da hier keine „kardiopulmonale Phase der Adaptation“ berücksichtigt werden muss und somit die Sauerstoffkinetik einer einfachen Exponentialfunktion folgt ([10, 20]; **Abb. 1**):

$$\Delta VO_{2(t)} = \Delta VO_{2(ss)} \times (1 - e^{-(t-\delta)/\tau})$$

$\Delta VO_{2(ss)}$ Differenzen der stabilen Sauerstoffaufnahme in der Ruhephase (Baseline 2) und der Sauerstoffaufnahme im steady-state in ml/min,

δ ist die Zeitverzögerung (Delay).

τ ist die Zeitkonstante der Antwort der Sauerstoffaufnahme in Sekunden.

Die Regressionsanalyse erfolgte mittels nichtlinearer Kurvenanpassung der SAS Prozedur proc nlin. Die Berechnung der τ -Werte erfolgte für zwei verschiedene VO_2 -Baseline (2)-Werte (Median ermittelt über 120 bzw. 180 Sekunden). Weiterhin wurden zwei Modelle für die benötigte Zeit, um 63% des Anstiegs der VO_2 von der Ruhe (Baseline 2) bis zum Steady-State zu bewältigen ($\hat{=}$ Tau-Wert), berechnet. Ist $\delta = 0$ ist dieser Wert gleich τ und ist $\delta \neq 0$ ist dieser Wert $\delta + \tau$. Somit haben wir aus methodischer Sicht die Zeitkonstante τ im Rahmen der Anstiegskinetik der VO_2 zu einer konstanten Last gewählt („on τVO_2 “).

Die Auswertung der symptomlimitierten Belastung erfolgte mittels der Auswertesoftware der Gasanalyseeinheit, wobei die ventilatorische anaerobe Schwelle mit der V-slope-Methode ermittelt wurde [21, 22]. Eine atemmechanische (ventilatorische) Limitierung wurde für zwei Konstellationen berechnet (MVV-1 als $FEV_1 \times 35$ bzw. MVV-2 als $FEV_1 \times 41$). Eine Limitierung wurde angenommen, wenn a) die maximale Ventilation mehr als 70% des berechneten Grenzwertes (MVV) bzw. b) mehr als 90% des Grenzwertes erreichte. Die Darstellung der spiroergometrischen Werte erfolgte in Prozent der Norm nach den Wasserman/Hansen- [23] bzw. nach den SHIP-Normwerten [24].

Wiederholungsuntersuchungen: Bei 11 Probanden haben wir nach 21 Monaten eine nochmalige Untersuchung nach der o.g. Methodik vorgenommen, wobei die Sauerstoffkinetik bei einer Last von 50 Watt ermittelt wurde.

Datenerfassung/Statistik: Die Erfassung der Primärdaten erfolgte mittels Microsoft® Excel® for Mac 2011 (Release 14.1.3). Alle Analysen wurden mit dem Statistikprogramm SAS 9.3 (SAS Institute

Inc., Cary, NC) durchgeführt. Sofern nicht anders ausgewiesen wurden alle Werte als Median dargestellt. Kontinuierliche Daten wurden als Median (1.Quartil; 3.Quartil) oder Mittelwert (Standardabweichung) angegeben. Nominale Daten wurden in Prozent angegeben. Für bivariate Analysen wurde der Mann-Whitney-U-Test (kontinuierliche Daten) durchgeführt. Der Vergleich der CPET-Untersuchung zu zwei Zeitpunkten erfolgte mittels Wilcoxon-Rangsummentest. Ein p-Wert von $< 0,05$ wurde als signifikant erachtet. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman wurde angewendet, um mögliche Zusammenhänge der τ -Werte mit den Messwerten der $VO_{2@AT}$ bzw. VO_{2peak} darzustellen.

Für die Untersuchung wurde ein positives Votum durch die Ethik-Kommission der Universitätsmedizin Greifswald (BB 103/11) erteilt.

Ergebnisse

Die kardiopulmonale Belastbarkeit der untersuchten Probanden wurde mit einer symptomlimitierten Belastung auf dem Fahrrad erfasst, wobei alle Probanden eine Ausbelastung (anhand eines $RER > 1,1$) erreichten (**Tab. 3**). Die maximale Leistung lag bei 91% (Spanne 63–125) der Norm. Die Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle ($VO_{2@AT}$) lag bei 95% (Spanne 61–141) und bei maximaler Belastung (VO_{2peak}) bei 90% (Spanne 54–120) der Norm. Für die Atemeffizienz (dargestellt an dem Wert $VE/VCO_{2@AT}$) lagen die Werte bei 104% (Spanne 83–161) der Norm. Der endtidale Kohlendioxidpartialdruck an der anaeroben Schwelle ($petCO_{2@AT}$) betrug 106% (Spanne 87–127) der Norm. Der Sauerstoffpuls bei maximaler Belastung (VO_2/HR) betrug 108% (Spanne 61–185) der Norm.

Bei Verwendung der weit verbreiteten Normwerte nach Wasserman/Hansen [23] lagen die Werte für die VO_{2peak} bei 103% (Spanne 69–127) der Norm, und somit zeigten 30/35 Probanden eine normale kardiopulmonale Belastbarkeit (über 80% der Norm).

Die maximale Ventilation wurde mit 92% (Spanne 58–119) der Norm erfasst. Eine atemmechanische (d. h. ventilatorische) Limitierung ($VE \max/MVV > 70\%$) lag bei Verwendung des MVV-1 bei vier Probanden und für das MVV-2 bei zwei Probanden vor. Bei Verwendung des aktuell empfohlenen Grenzwertes von über 90% zeigten zwei (MVV-1) bzw. kein Proband (MVV-2) eine atemmechanische Limitierung (Daten nicht dargestellt).

Tab. 3 Spiroergometrische Befunde der Probanden.

Proband	Leistung		Ruhe								AT				
	maximal	Norm %	HR	syst. BD	diast. BD	VO ₂	VE/VC _{O₂}	petCO ₂	AF	VE	O ₂ /HR	SaO ₂	Last	VO ₂	Norm %
1	132	78,4	65	127	107	427	38,4	37,8	17	10,9	4,9	94	77	1118	94,4
2	100	86,5	72	142	111	183	40,9	35,6	9	8,2	2,6	98	65	746	79,6
3	100	88,3	74	120	89	188	45,3	40,0	12	8,3	2,5	98	66	679	78,2
4	212	124,8	85	122	97	314	36,6	38,0	12	13,0	3,7	97	95	1206	103,1
5	132	102,3	65	117	96	266	38,6	36,4	12	10,3	4,2	98	67	1033	108,2
6	177	86,6	73	120	95	350	54,7	36,3	17	16,5	4,8	97	132	1698	141,4
7	180	101,0	90	141	112	354	38,5	35,1	12	13,3	4,0	97	78	1439	108,3
8	180	89,6	100	126	98	420	42,8	34,5	16	16,4	4,0	96	70	1290	96,7
9	164	87,1	89	144	117	336	39,4	34,0	12	13,1	3,7	k.A.	68	1056	79,8
10	100	62,7	75	128	98	230	57,8	33,8	16	11,8	2,5	97	84	1039	91,7
11	84	84,8	70	128	93	193	57,7	30,5	21	12,0	2,7	97	47	670	81,8
12	84	67,5	73	102	77	240	53,3	33,7	19	11,9	3,3	96	52	891	95,6
13	210	106,1	73	117	86	334	50,1	34,7	18	13,0	4,7	96	84	1276	95,6
14	196	120,8	69	127	94	290	49,0	36,4	17	12,9	4,4	97	99	1478	123,9
15	132	80,8	68	131	105	k.A.	k.A.	k.A.	17	7,3	k.A.	96	84	k.A.	k.A.
16	164	82,4	76	103	86	300	36,8	41,6	12	10,9	4,3	94	84	1147	91,8
17	132	91,5	79	138	104	250	52,6	36,0	17	12,5	3,7	97	68	1054	95,1
18	132	76,4	75	107	82	307	47,8	30,7	9	12,4	4,3	95	52	1031	80,2
19	180	111,9	60	109	86	310	48,2	38,1	16	13,0	4,7	98	68	1086	85,7
20	157	94,9	88	115	81	332	49,5	32,2	18	14,5	3,7	97	100	1117	96,8
21	148	94,5	75	107	84	343	58,1	35,8	12	11,8	4,0	97	84	1210	108,1
22	145	77,9	96	152	111	380	40,8	36,2	12	13,5	3,9	96	95	1499	115,8
23	116	102,2	73	100	88	230	53,6	36,3	16	10,8	2,7	97	68	843	93,6
24	94	82,0	96	154	113	400	30,7	27,5	k.A.	9,8	2,1	95	36	846	88,7
25	164	109,8	81	137	100	262	45,9	35,7	14	10,9	3,3	98	74	1186	106,2
26	148	86,0	70	141	114	354	40,4	31,8	22	11,7	4,7	97	68	1111	89,6
27	125	94,5	86	114	96	255	38,9	35,8	12	10,3	3,0	96	65	835	90,6
28	116	67,1	65	122	83	282	46,4	31,7	19	11,5	3,3	97	63	859	75,2
29	158	97,0	67	122	100	263	51,2	32,4	14	12,3	4,0	98	90	1363	122,0
30	100	92,3	77	142	107	230	39,4	34,2	13	k.A.	k.A.	96	53	791	92,7
31	100	86,4	63	125	93	205	52,9	35,9	13	9,4	3,3	97	47	570	61,0
32	164	94,3	63	120	96	265	45,3	37,1	13	12,1	4,7	97	100	1441	118,1
33	244	117,3	71	136	100	320	51,6	33,9	16	14,3	3,6	96	100	1451	104,3
34	196	105,9	71	120	96	295	44,3	34,9	7	10,4	4,1	97	106	1600	128,7
35	164	92,5	76	118	89	248	47,9	35,4	8	11,4	4,0	96	90	1178	100,9

Der Vergleich ausgewählter spiroergometrischer Parameter der Probanden mit den Kontrollen aus der Bevölkerungsstudie wird in der **Tab. 4** dargestellt. Dabei wird für die Probanden ein signifikant höherer systolischer und diastolischer Blutdruck in Ruhe, petCO₂@AT und diastolischer Blutdruck bei maximaler Belastung nachgewiesen. Dagegen waren die maximale Ventilation, die maximale Atemfrequenz sowie die arterielle Sättigung bei VO_{2peak} bei den Probanden signifikant geringer.

Somit kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die kardiopulmonale Belastbarkeit (bestimmt über die erreichte Leistung und die sauerstoffassoziierten Parameter [VO_{2peak}, VO₂@AT bzw. VO₂/HR]) der Probanden keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe auswiesen.

Mit der von uns gewählten Methodik der Erfassung der Sauerstoffkinetik konnten τ -Werte nur für 28/35 Probanden berechnet werden (**Tab. 5**). Die Daten zeigen, dass die Mittelung der Ausgangswerte für die VO₂ über 120 bzw. 180 sec (Baseline 2) keinen Einfluss auf die errechneten Werte „ τ mit Delay“ hatte. Auf die er-

rechneten τ -Werte hatte die gewählte Zeitmittelung jedoch bei einzelnen Probanden einen deutlichen Einfluss. Bei der Zweituntersuchung (andere Laststufe gewählt) waren 9/11 Untersuchungen auswertbar, und die errechneten τ -Werte wurden kaum durch die unterschiedliche Zeitmittelung beeinflusst.

Es konnte bei keiner der beiden Zeitmittelungen eine signifikante Korrelation der τ -Werte zu den Messwerten der VO₂@AT (τ mit Delay Korrelationskoeffizient nach Spearman 0,004 ($p=0,985$); τ 0,019 ($p=0,923$) bei 120 sec Mittelung bzw. τ mit Delay 0,004 ($p=0,985$); τ 0,085 ($p=0,669$) bei 180 sec Mittelung oder VO_{2peak} (τ mit Delay -0,182 [$p=0,335$]; τ -0,141 [$p=0,475$] bei 120 sec Mittelung bzw. τ mit Delay -0,182 [$p=0,335$]; τ -0,053 [$p=0,789$]) nachgewiesen werden.

Tab. 3 (Fortsetzung)

Ende													
VE/VCO ₂	Norm %	petCO ₂	Norm %	HR	syst. BD	diast. BD	VO ₂	Norm %	Norm % (2)	VE/VCO ₂	petCO ₂	O ₂ /HR	Norm %
26,2	91,6	50,0	126,6	84	138	91	1580	77,3	82,6	23,4	50,1	22,1	158,9
32,2	120,5	45,0	115,0	108	214	98	1243	85,1	107,2	29,9	43,1	14,8	137,2
26,5	101,2	42,5	107,0	146	188	118	734	54,4	69,1	25,7	43,6	12,2	121,4
28,9	104,6	44,6	110,4	161	185	130	2290	108,1	112,5	24,8	39,4	14,3	104,5
26,9	101,5	44,9	115,1	121	180	129	1645	103,4	120,6	24,9	45,3	13,5	124,1
27,2	98,2	46,0	113,4	143	204	139	1850	81,1	94,1	25,8	41,4	12,9	91,0
22,9	82,9	46,0	114,8	80	228	153	2425	103,5	104,3	32,3	38,5	k.A.	k.A.
29,9	109,1	40,1	99,0	143	192	130	2538	103,3	105,6	27,5	42,9	17,8	112,0
30,8	112,1	39,9	99,0	142	220	147	1955	81,8	82,9	30,9	40,4	13,7	87,4
30,4	103,9	39,9	102,4	133	201	136	1295	68,5	76,5	28,4	40,4	17,0	128,3
41,9	160,6	34,5	86,8	157	174	115	1073	87,9	103,9	37,3	33,3	6,8	74,1
35,5	134,2	37,2	94,7	90	202	127	1305	86,0	104,2	31,9	38,6	14,8	138,2
34,3	125,3	40,2	99,2	136	219	125	2345	95,8	97,4	28,3	42,8	24,2	152,0
28,6	100,1	44,8	113,7	155	218	134	2446	120,3	126,6	24,7	43,7	15,8	112,9
k.A.	k.A.	41,7	106,0	136	192	139	1569	82,2	93,2	k.A.	k.A.	12,3	95,1
25,1	93,0	49,9	121,7	97	233	141	2138	89,7	94,4	24,5	47,0	22,9	155,4
29,7	101,6	41,2	106,0	k.A.	223	152	1726	95,7	102,7	29,3	40,3	23,8	184,8
30,4	107,0	37,0	93,8	138	191	116	1782	81,0	84,0	36,4	34,5	12,9	84,5
27,8	95,1	43,1	111,4	k.A.	175	132	2436	118,2	125,0	24,8	48,0	k.A.	k.A.
30,9	108,9	39,7	100,0	179	164	117	1442	71,6	76,6	33,4	41,6	8,2	61,0
28,2	98,0	42,8	108,8	135	175	114	1915	100,6	109,1	31,8	38,4	14,1	108,5
29,8	104,8	43,7	110,5	125	160	111	1994	88,2	93,3	30,3	42,6	15,9	103,5
31,8	120,3	42,3	107,6	141	212	144	1225	86,6	104,0	27,9	40,4	8,6	83,5
37,6	139,9	37,1	95,3	k.A.	206	112	1469	99,1	122,8	31,6	37,5	k.A.	k.A.
29,8	101,9	38,5	98,9	95	271	166	2070	113,0	122,3	31,0	36,8	21,4	164,8
34,3	125,6	37,9	93,4	137	193	127	1602	71,5	72,6	30,1	37,3	13,9	95,6
27,3	104,4	44,3	112,5	132	170	111	1442	91,9	106,1	30,4	37,6	13,2	124,9
35,1	127,7	39,2	96,6	118	174	103	1465	69,5	74,6	35,3	37,9	12,2	91,9
29,8	104,5	36,4	91,9	150	212	130	2022	103,8	114,5	33,3	34,9	13,9	107,2
29,6	113,2	45,0	113,6	150	207	137	1158	86,9	100,6	28,4	40,9	7,9	81,9
32,5	121,8	39,7	101,8	128	210	144	1082	73,1	86,4	29,4	38,3	8,3	78,7
26,8	94,1	45,5	115,1	k.A.	180	131	2017	95,2	101,0	29,4	39,5	k.A.	k.A.
29,5	109,6	42,6	104,2	162	215	136	3110	119,8	119,5	27,1	35,6	19,2	115,5
27,6	100,0	44,8	111,0	151	200	132	2454	108,2	111,7	27,9	43,6	16,6	113,0
29,7	109,3	43,2	105,7	159	169	108	1968	90,0	94,9	30,1	39,0	12,1	89,2

Abkürzungen: AT, Anaerobe Schwelle; HR, Herzfrequenz/Minute; syst. BD, systolischer Blutdruck in mmHg; diast. BD, diastolischer Blutdruck in mmHg; VO₂, Sauerstoffaufnahme in ml/min; VE/VCO₂, Atemeffizienz als Quotient Ventilation/Kohlendioxidabgabe; petCO₂, endtidaler Partialdruck für Kohlendioxid in mmHg; AF, Atemfrequenz/Minute; VE, Ventilation in l/min; O₂/HR, Sauerstoffaufnahme/Herzschlag in ml/Schlag; Norm [2] Normwerte nach Wasserman/Hansen [23]

Diskussion

In die Untersuchung wurden 35 Probanden in einem Alter zwischen 58–78 Jahren eingeschlossen, welche über längere Zeit im Rahmen einer „Alterssportgruppe“ ein regelmäßiges körperliches Training durchgeführt haben. Im Gegensatz zu anderen Studien unter Einbeziehung älterer Probanden [3,25,26] haben wir Probanden mit kardiorespiratorischen Erkrankungen oder bestehendem Übergewicht (BMI >30) nicht ausgeschlossen. Somit wurde akzeptiert, dass Einflussfaktoren (sog. Confounder) auf ausgewählte spiroergometrische Parameter existieren. Hintergrund war die grundlegende Überlegung der Studie, einen Vergleich zwischen der sog. Normalbevölkerung (selektierte Kontrollen zur Erstellung von Normwerten) und regelmäßig trainierenden Probanden (mit/ohne Komorbiditäten) vorzunehmen. Über die gesamte Gruppe der Probanden gesehen, waren jedoch die aus den Voruntersuchungen [3] bekannten Confounder nur in geringem Umfang vorhanden. Diese Aussage wird durch die ge-

ringen Auffälligkeiten bei den lungenfunktionellen Untersuchungen gestützt.

Zur Erfassung der kardiopulmonalen Belastbarkeit nutzten wir die symptomlimitierte Spiroergometrie auf dem Fahrrad. Die somit ermittelten Parameter der Leistung sowie verschiedene Werte der aeroben Kapazität (VO_{2peak}, VO_{2@AT} sowie VO₂/HR) werden zunehmend als ein wichtiges Instrument der Trainingssteuerung angesehen [9,27]. Dieses gilt nicht nur für Patienten mit verschiedenen Erkrankungen, sondern auch für Empfehlungen zur körperlichen Belastung bei Normalpersonen (Breitensport). Bei unseren Probanden konnten wir sowohl für die erreichte Leistung in Watt (Fahrradergometer) als auch für alle Parameter der aeroben Kapazität keinen signifikanten Unterschied zur „Normpopulation“ erfassen. Auch bei Verwendung der weit verbreiteten Normwerte nach Wasserman/Hansen [23] zeigten sich für den globalen Parameter der VO_{2peak} keine signifikanten Unterschiede. Somit wurde die gute Vergleichbarkeit der im Rahmen von SHIP-1 generierten Werte zu den international weit verbre-

Tab. 4 Vergleich ausgewählter spiroergometrischer Parameter zwischen Probanden und Kontrollen.

Gruppe	Variable	Anzahl	MW (\pm SD)	Minimum	Maximum	p
Probanden	Alter [Jahre]	35	68 (\pm 5,9)	58	78	n.s.
Kontrollen		130	68 (\pm 5,6)	58	78	
Probanden	Geschlecht (Frauen/Männer)	10/25				n.s.
Kontrollen		37/93				
Probanden	Größe [cm]	35	174,3 (\pm 8,3)	157	193	0,004
Kontrollen		130	169,3 (\pm 7,9)	152	191	
Probanden	Gewicht [kg]	35	77,8 (\pm 11,7)	54	98	n.s.
Kontrollen		130	81,2 (\pm 13,9)	49	125	
Probanden	Maximale Leistung [Watt]	35	146,6 (\pm 39,7)	84	244	n.s.
Kontrollen		130	145,4 (\pm 42,6)	68	260	
Probanden	Belastungsdauer [sec]	35	546,3 (\pm 149,1)	320	860	n.s.
Kontrollen		130	527,9 (\pm 157,3)	201	923	
Probanden	Herzfrequenz (Ruhe) (1/min)	35	75,7 (\pm 10,0)	60	100	n.s.
Kontrollen		130	72,6 (\pm 11,9)	45	104	
Probanden	Systolischer RR (Ruhe) (mmHg)	35	125,0 (\pm 13,9)	100	154	0,003
Kontrollen		130	116,3 (\pm 18,1)	73	179	
Probanden	Diastolischer RR (Ruhe) (mmHg)	35	96,7 (\pm 10,5)	77	117	<0,001
Kontrollen		130	80,7 (\pm 11,2)	54	122	
Probanden	Sauerstoffaufnahme (Ruhe) (ml/min)	34	292,8 (\pm 64,5)	183	427	n.s.
Kontrollen		130	305,6 (\pm 69,0)	100	450	
Probanden	VO ₂ @AT (ml/min)	34	1112,9 (\pm 281,7)	570	1698	n.s.
Kontrollen		130	1025,5 (\pm 273,1)	500	2562	
Probanden	VE/VCO ₂ @AT	34	30,2 (\pm 3,7)	23	42	n.s.
Kontrollen		130	29,0 (\pm 3,8)	22	45	
Probanden	petCO ₂ @AT (mmHg)	35	42,0 (\pm 3,7)	35	50	<0,001
Kontrollen		130	37,4 (\pm 5,4)	23	49	
Probanden	Herzfrequenz (maximal) (1/min)	29	136,6 (\pm 21,4)	84	179	n.s.
Kontrollen		130	137,1 (\pm 22,6)	69	190	
Probanden	Systolischer RR (maximal) (mmHg)	35	197,0 (\pm 25,3)	138	271	n.s.
Kontrollen		130	189,9 (\pm 31,1)	105	296	
Probanden	Diastolischer RR (maximal) (mmHg)	35	127,9 (\pm 16,4)	91	166	<0,001
Kontrollen		130	91,7 (\pm 13,9)	39	117	
Probanden	VO ₂ peak (ml/min)	35	1794,6 (\pm 520,4)	1073	3110	n.s.
Kontrollen		130	1827,0 (\pm 520,1)	800	3045	
Probanden	VE/VCO ₂ slope	34	29,4 (\pm 3,5)	23	37	n.s.
Kontrollen		130	29,0 (\pm 3,7)	21	45	
Probanden	Atemfrequenz (maximal) (1/min)	35	25,7 (\pm 4,6)	18	41	<0,001
Kontrollen		130	30,9 (\pm 6,2)	16	47	
Probanden	Ventilation (maximal) (L/min)	34	59,8 (\pm 13,8)	38	94	0,023
Kontrollen		130	68,6 (\pm 21,2)	30	120	
Probanden	Sauerstoffpuls (maximal) (ml)	31	14,8 (\pm 4,6)	7	24	n.s.
Kontrollen		130	13,7 (\pm 3,3)	6	23	
Probanden	Sättigung bei VO ₂ peak (%)	33	93,7 (\pm 2,8)	85	97	<0,001
Kontrollen		104	96,4 (\pm 1,9)	87	100	

Abkürzungen: siehe [Tab. 3](#)

teten Normwerten bestätigt. Ungeachtet des abweichenden Belastungsprotokolls konnte auch in einer jüngst publizierten Arbeit eine vergleichbare Leistungsfähigkeit bei 43 Probanden zwischen 60–79 Jahren dokumentiert werden. Es bleibt jedoch anzumerken, dass dieser Vergleich durch die Verwendung von Mittelwerten sowie geschlechts- und altersabhängige Darstellung der Ergebnisse erschwert ist. Die daraus resultierende geringe Anzahl der Probanden in den einzelnen Gruppen ist bei der Ableitung von Ergebnissen zu berücksichtigen. Dieses gilt auch für eine eigentlich sehr umfangreiche brasilianische Studie, die jedoch in der Altersgruppe 65–74 Jahre nur 10 Männer und 25 Frauen untersucht hat [25]. In SHIP-1 wurden dagegen in der Altersgruppe 65–74 Jahre noch 130 Frauen und 148 Männer und bei den über 75-jährigen noch 23 Frauen und 51 Männer unter-

sucht, und wir konnten über ein Matching von 1:4 insgesamt 130 Kontrollen für unseren Normwertvergleich auswählen.

Es existiert eine umfangreiche Literatur zur Bestimmung der sog. Sauerstoffkinetik, weshalb wir die Methode hinsichtlich der Praktikabilität unter Alltagsbedingungen bei unseren Probanden untersucht haben. Das eigentlich bestechende theoretische Grundkonzept besteht darin, über die Sauerstoffkinetik Aussagen zur kardiopulmonalen Belastbarkeit im Sinne der Fitness bzw. auch der Veränderungen nach Intervention (z. B. Training) abzuleiten. Bei Durchsicht der Literatur wird jedoch deutlich, dass methodische Details bei der Durchführung eine immense Bedeutung besitzen. So haben wir uns für die Erfassung über eine konstante Laststufe entschieden, welche gegenüber der Messung aus einem Stufen- bzw. Rampentest stabilere Werte erbringen soll

Tab. 5 Parameter der Sauerstoffkinetik.

Proband	Mittlung 120 sec		Mittlung 180 sec	
	Tau + Delay	Tau	Tau + Delay	Tau
1	62	59	62	59
3	29	26	29	20
4	22	28	22	29
5	49	50	49	54
6	31	32	31	32
7	48	45	48	45
8	38	25	38	29
9	43	54	43	55
10	141	92	141	85
12	77	38	77	38
13	38	43	38	41
14	62	55	62	60
16	29	48	29	46
17	60	74	60	72
18	36	44	36	44
21	60	71	60	86
22	64	78	64	69
23	46	47	46	40
24	38	49	38	48
25	69	58	69	58
26	91	108	92	102
27	40	40	40	39
29	45	47	45	46
30	55	59	55	56
31	75	130	75	111
32	61	72	61	68
34	58	75	58	75
35	113	84	113	86
Zweituntersuchung				
8	35	36	35	36
10	51	74	51	74
14	54	66	54	64
17	50	50	50	48
20	23	23	23	23
21	50	58	50	48
25	47	46	47	44
32	48	54	48	54
33	32	34	32	34

[13]. Als weiteres haben wir uns für die Messung einer Zeitkonstanten (τ -Wert) aus einem „Steady State“ mit Treten ohne Last entschieden. Eine andere Möglichkeit wäre die Bestimmung der Kinetik aus der Ruhe auf eine konstante Last, welche als MRT (mean response time) auch klinische Anwendung gefunden hat. Mit diesem Wert wird die kardiopulmonale Phase der Belastung (Phase I) und VO_2 Kinetik (Phase II) zusammen betrachtet. Bei der Wahl der Laststufen haben wir uns an der Literatur orientiert, wobei wir eine Last unterhalb der anaeroben Schwelle gewählt haben. Nur in diesem Bereich folgt die VO_2 Kinetik einer monoexponentialen Funktion. Bei höheren Laststufen müssen andere Berechnungsmodelle genutzt werden [14,28,29]. Methodisch ist es zudem bedeutsam, ob man eine Anstiegs- (onset) oder Abfalls- (recovery) Kinetik nutzt, wobei einzelne Daten auf eine bessere Reproduzierbarkeit der Abfallskinetik hinweisen [30]. In dieser Studie wurde auch der Einfluss der Mittlung (5 oder 10 sec; 5 oder 8 Atemzüge) auf die MRT bzw. τ -Werte untersucht, wobei die Mittlung über 5 Atemzüge die beste Reproduzierbarkeit erbrachte. Wir haben auch einen Einfluss der Zeitmittlung auf die τ -Werte gefunden, wobei wir für unsere Studie deutlich längere Zeitmittlungen verwendet haben. Die Reproduzierbarkeit der

gewonnenen Werte wird durch die mehrfache Untersuchung und nachfolgende Mittlung verbessert [15,31]. So wurden bei gesunden Probanden 6 Tests durchgeführt und gezeigt, dass die Mittlung über 4 Tests optimal ist [13].

Der von uns gewählte Ansatz zur Erfassung der VO_2 Kinetik über die Zeitkonstante τ zu Beginn einer konstanten Laststufe kann für die Anwendung unter Alltagsbedingungen nicht empfohlen werden. Hintergrund dieser Aussage ist der hohe technische Aufwand (kompletter Datenexport und sekundäre Berechnung der Kinetik), die relevante Anzahl von Patienten ohne berechenbares Ergebnis und letztlich die fehlende Beziehung zu ausgewählten Parametern der Spiroergometrie. Ob die Ergebnisse durch eine Mehrfachmessung zu verbessern sind, muss offen bleiben. Jedoch würde auch die Notwendigkeit zur mehrfachen Durchführung dieses Testes die Anwendung in der klinischen Routine zur orientierenden Bestimmung der kardiopulmonalen Fitness nicht sinnvoll erscheinen lassen. Die bisherigen „Normwerte“ beziehen sich ausschließlich auf kleine Gruppen männlicher Probanden und weisen auf eine Altersabhängigkeit hin.

Durch die zunehmende Verfügbarkeit von Softwareanwendungen zur Bestimmung der VO_2 Kinetik in den kommerziell verfügbaren Geräten erscheint eine breitere klinische Anwendung möglich. Es sei abschließend darauf verwiesen, dass im Gegensatz zu unseren Ergebnissen in der Literatur verschiedene Parameter der VO_2 Kinetik erfolgreich zur Bewertung der Prognose und zur Dokumentation von Therapieeffekten bei verschiedenen Patientengruppen zum Einsatz kommen (u. a. Patienten mit Linksherzinsuffizienz, [32–36]).

Interessenkonflikt



Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- 1 Finger JD, Krug S, Gößwald A et al. Kardiorespiratorische Fitness bei Erwachsenen in Deutschland; Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsbl 2013; 56: 772–778
- 2 Gore CJ, Booth ML, Bauman A et al. Utility of pwc75% as an estimate of aerobic power in epidemiological and population-based studies. Med Sci Sports Exerc 1999; 31: 348–351
- 3 Koch B, Schäper C, Ittermann T et al. Reference values for cardiopulmonary exercise testing in healthy volunteers: the SHIP study. Eur Respir J 2009; 33: 389–397
- 4 Ekelund LG, Haskell WL, Johnson JL et al. Physical fitness as a predictor of cardiovascular mortality in asymptomatic North American men. The Lipid Research Clinics Mortality Follow-up Study. N Engl J Med 1988; 319: 1379–1384
- 5 Myers J, Prakash M, Froelicher V et al. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. N Engl J Med 2002; 346: 793–801
- 6 Carnethon MR, Gulati M, Greenland P. Prevalence and cardiovascular disease correlates of low cardiorespiratory fitness in adolescents and adults. JAMA 2005; 294: 2981–2988
- 7 Sui X, LaMonte MJ, Blair SN. Cardiorespiratory fitness as a predictor of nonfatal cardiovascular events in asymptomatic women and men. Am J Epidemiol 2007; 165: 1413–1423
- 8 Manini TM, Everhart JE, Patel KV et al. Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. JAMA 2006; 296: 171–9
- 9 Bjarnason-Wehrens B (Hrsg.) Deutsche Leitlinie zur Rehabilitation von Patienten mit Herz-Kreislaufkrankungen (DLL-KardReha). Clin Res Cardiol 2007; (Suppl. 02): III/1–III/54
- 10 Whipp BJ. Rate constant for the kinetics of oxygen uptake during light exercise. J Appl Physiol 1971; 30: 261–263
- 11 Di Prampero PE, Davies CT, Cerretelli P et al. An analysis of O_2 debt contracted in submaximal exercise. J Appl Physiol 1970; 29: 547–51

- 12 Bell C, Paterson DH, Kowalchuk JM et al. A comparison of modelling techniques used to characterise oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. *Exp Physiol* 2001; 86: 667–676
- 13 Markovitz GH, Sayre JW, Storer TW et al. On issues of confidence in determining the time constant for oxygen uptake kinetics. *Br J Sports Med* 2004; 38: 553–560
- 14 Ozyener F, Rossiter HB, Ward SA et al. Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. *J Physiol* 2001; 533: 891–902
- 15 Kilding AE, Challis NV, Winter EM et al. Characterisation, asymmetry and reproducibility of on- and off-transient pulmonary oxygen uptake kinetics in endurance-trained runners. *Eur J Appl Physiol* 2005; 93: 588–597
- 16 Babcock MA, Paterson DH, Cunningham DA et al. Exercise on-transient gas exchange kinetics are slowed as a function of age. *Med Sci Sports Exerc* 1994; 26: 440–446
- 17 Charlson ME, Pompei P, Ales KL et al. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *J Chronic Dis* 1987; 40: 373–383
- 18 Völzke H, Alte D, Schmidt CO et al. Cohort profile: the study of health in Pomerania. *Int J Epidemiol* 2011; 40: 294–307
- 19 Jones NL, Makrides L, Hitchcock C et al. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis* 1985; 131: 700–708
- 20 Mezzani A, Agostoni P, Cohen-Solal A et al. Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2009; 16: 249–267
- 21 Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* (1985) 1986; 60: 2020–2027
- 22 Westhoff M, Rühle KH, Greiwing A et al. Ventilatorische und metabolische (Laktat-) Schwellen. Positionspapier der Arbeitsgemeinschaft Spiroergometrie. *Dtsch Med Wochenschr* 2013; 138: 275–280
- 23 Wasserman K et al. Ed. Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications. 5th Edition Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins; 2012: 154–180
- 24 Gläser S, Ittermann T, Schäper C et al. Referenzwerte für die Spiroergometrie – Ergebnisse der Study of Health in Pomerania (SHIP). *Pneumologie* 2013; 67: 58–63
- 25 Herdy AH, Uhlendorf D. Reference values for cardiopulmonary exercise testing for sedentary and active men and women. *Arq Bras Cardiol* 2011; 96: 54–59
- 26 Funk M, Schneider J. Spiroergometrische Referenzwerte für die sozialmedizinische Leistungsbeurteilung bei Erwachsenen im Alter über 60 Jahre. *Pneumologie* 2012; 66: 329–337
- 27 Bjarnason-Wehrens B (Hrsg.) Leitlinie körperliche Aktivität zur Sekundärprävention und Therapie kardiovaskulärer Erkrankungen. *Clin Res Cardiol* 2009; (Suppl. 04): 1–44
- 28 Scheuermann BW, Barstow TJ. O₂ uptake kinetics during exercise at peak O₂ uptake. *J Appl Physiol* 2003; 95: 2014–2022
- 29 Jones AM, Poole DC. Oxygen uptake dynamics: from muscle to mouth—an introduction to the symposium. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37: 1542–1550
- 30 Kemps HM, De Vries WR, Hoogeveen AR et al. Reproducibility of onset and recovery oxygen uptake kinetics in moderately impaired patients with chronic heart failure. *Eur J Appl Physiol* 2007; 100: 45–52
- 31 Zeiselmeier A. Die Kinetik der Sauerstoffaufnahme bei Belastungsbeginn in Relation zum Herzfrequenzanstieg und der alveolären Sauerstoffkonzentration. Dissertation Tübingen: 2006
- 32 Schalcher C, Rickli H, Brehm M et al. Prolonged oxygen uptake kinetics during low-intensity exercise are related to poor prognosis in patients with mild-to-moderate congestive heart failure. *Chest* 2003; 124: 580–586
- 33 Sietsema KE, Ben-Dov I, Zhang YY et al. Dynamics of oxygen uptake for submaximal exercise and recovery in patients with chronic heart failure. *Chest* 1994; 105: 1693–1700
- 34 Koike A, Koyama Y, Itoh H et al. Prognostic significance of cardiopulmonary exercise testing for 10-year survival in patients with mild to moderate heart failure. *Jpn Circ J* 2000; 64: 915–920
- 35 Brunner-La Rocca HP, Weilenmann D, Follath F et al. Oxygen uptake kinetics during low level exercise in patients with heart failure: relation to neurohormones, peak oxygen consumption, and clinical findings. *Heart* 1999; 81: 121–127
- 36 Arena R, Humphrey R, Peberdy MA. Measurement of oxygen consumption on-kinetics during exercise: implications for patients with heart failure. *J Card Fail* 2001; 7: 302–310