

## » Funktionelle Effekte unterschiedlicher Trainingsformen bei Patienten mit COPD<sup>1</sup>

G. Würtemberger, K. Bastian

Abteilung für Innere Medizin/Pneumologie,  
Reha-Zentrum Reichshof, Reichshof-Eckenhagen  
(Leiter: PD Dr. G. Würtemberger)

**Zusammenfassung:** Belastungseinschränkung und Dyspnoe bei Patienten mit COPD führten zu unterschiedlichen Rehabilitationsprogrammen mit dem Ziel einer Steigerung der Leistungsfähigkeit bei gleichzeitiger Besserung der Dyspnoe. Zur Klärung der Effizienz eines Ausdauertrainings (Trainingsgruppen P1 und P4), eines Krafttrainings (P2 und P5) oder einer Kombination von beiden (P3 und P6) wurden 69 Patienten mit mittel- bis schwergradiger COPD (44 Männer/25 Frauen) randomisiert einem dreiwöchigen stationären Trainingsprogramm ohne (P1–P3) oder mit Sauerstoffgabe (P4–P6) zugeführt. Vor und nach dem Rehaprogramm wurden bei allen Patienten Lungenfunktionsuntersuchungen und Belastungstests durchgeführt. Die subjektive Dyspnoe wurde mittels einer visuellen Analogskala, das Belastungsgefühl mit der Borg-Skala gemessen. Das Ausdauertraining erfolgte dreimal wöchentlich auf einem kalibrierten Fahrradergometer mit 70 % der maximalen Leistungsfähigkeit, das Krafttraining dreimal wöchentlich kraftausdauerorientiert mit 40 % der berechneten Maximalkraftleistung. Die Lungenfunktion und arteriellen Blutgase blieben weitgehend unverändert. Der 6-Minuten-Gehstreckentest (6MT) zeigte bei allen Gruppen (außer P2) eine signifikante Zunahme der Gehstrecke zwischen 60–83 m. Die benötigte Zeit für den Test alltagsmotorischer Fertigkeiten (TAF) verbesserte sich in allen Gruppen um 5 bis 58 Sekunden und erreichte bei P1, P3, P5 und P6 Signifikanzniveau. Die Dyspnoe nach dem 6MT besserte sich bis auf P4 in allen Gruppen, signifikant in P1 und P3, nach dem TAF in allen Gruppen, signifikant in P2 und P5. Zusammenfassend belegen die Untersuchungen die Effizienz eines kurzzeitigen stationären Rehaprogramms. Patienten mit weit fortgeschrittener Erkrankung (P4–P6) profitieren deutlicher von einem Kraftausdauertraining (allein als auch in Kombination), während Patienten der Gruppen P1–P3 ein Ausdauertraining eher zu empfehlen ist. Die Verbesserungen der Belastbarkeit und der Dyspnoe tragen zu einer Steigerung der täglichen Aktivitäten und letztendlich zu einem gesteigerten Wohlbefinden bei.

**Functional Effects of Different Training in Patients with COPD:** Disability and exertional dyspnea associated with chronic obstructive pulmonary disease has led to the development of rehabilitation programmes that aim to increase exercise tolerance and relief of dyspnea. To evaluate whether aerobic training (training groups P1 and P4), strength training (P2 and P5)

or a combination of both (P4 and P6) is useful, 69 patients (44 m/25 f) with moderate to severe COPD were randomised to a three week inpatient training program. The training consisted of three weekly twenty minute exercise sessions without (P1–P3) or with supplemental oxygen (P4–P6) on a calibrated ergocycle (70 %  $W_{max}$ ) or three weekly sessions of 20–25 repetitions of 2–4 training series (40 %  $W_{max}$ ) or a combination of both. In general, the programme failed to demonstrate significant changes in lung function and arterial blood gases. Evaluation of exercise capacity via the six-minute-walking test (6MT) yielded a significant increase of the walking distance in all groups except P2 (60–83 m). The time to finish a test-set of daily activities (TAF) was reduced in all groups (5–58 sec) and reached significance in P1, P3, P5 and P6. After the 6MT, exertional dyspnea improved in all groups except P4 and was significant in P1 and P3; after the TAF, dyspnea again was reduced in all groups with a significant change in P2 and P5. These data support the hypotheses that a short term inpatient training programme is suitable to improve exercise-capacity and dyspnea. Patients with advanced disease (P4–P6) show greater benefits with strength training (alone or in combination with aerobic training) while for patients with moderate disease (P1–P3) aerobic training is favourable. These changes may translate into improved performance of daily activities and general well-being.

### Einleitung

Dyspnoe, Belastungsintoleranz und eine eingeschränkte Lebensqualität sind die wesentlichen Beschwerden von Patienten mit chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen. Dies ist Folge einer progressiven, über Jahre dauernden Zerstörung von Lungengewebe und Atemwegen mit den Folgen reduzierter ventilatorischer Reserven. Weltweit zeigen chronische Lungenkrankheiten, insbesondere obstruktive Ventilationsstörungen, einen Anstieg an Morbidität und Mortalität, vor allem bei Patienten in fortgeschrittenem Lebensalter mit dadurch bereits reduzierten ventilatorischen Reserven [1].

Um Dyspnoe zu vermeiden, reduzieren diese Patienten körperliche Anstrengung mit der Folge einer physiologischen Dekonditionierung, die in den Circulus vitiosus mit abneh-

<sup>1</sup> Diese Arbeit ist Teil der Promotionsarbeit von Frau K. Bastian.

mender Belastbarkeit und progredienter Dyspnoe, der Dyspnoespirale führt [2,3].

Diese nach unten führende Spirale soll Rationale für eine pneumologische Rehabilitation darstellen. Primäres Ziel ist dabei u.a. die Wiederherstellung einer höchstmöglichen körperlichen Leistungsfähigkeit zur Gewinnung weitgehender funktioneller Unabhängigkeit. Der Stellenwert eines körperlichen Trainingsprogramms ist dabei sicher unumstritten; verschiedene Studien mit unterschiedlicher Trainingsbelastung, Trainingsart als auch Dauer des Rehaprogramms belegten den Zugewinn an körperlicher Leistungsfähigkeit [4–8].

Auf die dringende Notwendigkeit der Etablierung pneumologischer Reha-Programme wiesen nicht zuletzt Empfehlungen der ATS, der ERS und der Deutschen Atemwegsliga hin [9–11].

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war die Überprüfung der Effekte unterschiedlicher Trainingsarten (Ausdauertraining, Krafttraining und Kombination der beiden) auf die Lungenfunktion, die arteriellen Blutgase, die körperliche Leistungsfähigkeit und die Dyspnoe im Rahmen eines dreiwöchigen stationären Reha-Programmes.

## Material und Methoden

### Patienten

69 Patienten (44 Männer, 25 Frauen) mit mittel- bis schwergradiger chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung wurden von Januar 1999 bis Juni 2000 untersucht. Alle klagten über Dyspnoe in Ruhe bzw. bei bereits geringer Belastung und eine Belastungseinschränkung. Ausgeschlossen waren Patienten mit Linksherzinsuffizienz, Asthma bronchiale als auch kürzlich durchgemachter Infektexazerbationen.

Nach Randomisierung wurden die Patienten in drei verschiedene 3-wöchige Trainingsprogramme eingeteilt:

Ausdauertraining (n = 14; P1), Krafttraining (n = 13; P2) sowie Kraft- und Ausdauertraining als Kombinationstraining (n = 10; P3). Patienten mit Indikation zur Sauerstofflangzeittherapie, die im Rahmen der Eingangsuntersuchung unter Belastung eine deutliche progrediente Hypoxämie zeigten, wurden entsprechend randomisiert und identischen Trainingsgruppen zugeordnet (n = 12; P4; n = 10; P5; n = 10; P6).

### Studiendesign

Neben einer Eingangs- und Abschlussuntersuchung wurden bei allen Patienten Lungenfunktionsuntersuchungen, Blutgasanalysen, ein 6-Minuten-Gehstreckentest sowie ein Test alltagsnaher Fertigkeiten (TAF) vor und nach Abschluss des Trainingsprogramms durchgeführt.

Einen submaximalen Krafttest absolvierten die für das Kraftresp. Kombinationstraining, einen symptomlimitierten Ergometertest die für das Ausdauertraining randomisierten Patienten vor und nach dem Trainingsprogramm.

### Untersuchungsverfahren

Die Lungenfunktionskriterien erforderten eine Einschränkung des Tiffeneau-Index auf < 70% sowie des FEV<sub>1</sub> auf < 70% des Sollwerts. Gemessen wurden die Lungenvolumina 60 Minuten nach Inhalation von 2 Hub Ipratropribromid aus einem Dosieraerosol mittels Ganzkörperplethysmographie (Masterlab, Fa. Jaeger/ Würzburg). Als Sollwerte dienten die Empfehlungen von Quanjer [12,13].

Die arteriellen Blutgase wurden während Raumluftatmung aus dem aus einem mit Finalgon hyperämisierten Ohrläppchen entnommenen Blut mit einem AVL Omni 9 bestimmt.

Die fahrradergometrische stufenförmige Belastungsuntersuchung vor Einleitung und am Ende des Trainingsprogramms erfolgte auf einem drehzahlunabhängigen Fahrradergometer in halb liegender, halb sitzender Position entsprechend den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie [14].

Die die Belastung limitierende Wattleistung ( $P_{\max}$ ) erlaubte die Kalkulation der Trainingsbelastung ( $70\% W_{\max}$ ) für das Ausdauertraining mittels Fahrradergometer.

Ein submaximaler Krafttest wurde an den im Krafttraining verwendeten Trainingsgeräten der Fa. Kaphingst, Lahntal-Goßfelden, vor und nach dem Trainingsprogramm durchgeführt. In Anlehnung an die Oddvar-Holten-Kurve wurde die Trainingsintensität für das Krafttraining, das verschiedene Übungen zum Training der Bein- und Oberkörpermuskulatur enthielt, mit 40% der möglichen Maximalkraftleistung berechnet [15].

Der 6-Minuten-Gehstreckentest (6MT) zur Überprüfung der Ausdauerleistungsfähigkeit wurde vor und nach Abschluss des Trainingsprogramms in einer großen Halle durchgeführt [16,17].

Ein selbst entwickelter Test alltagsbezogener Fertigkeiten (TAF) mit besonderem Schwerpunkt auf Oberkörpertätigkeit wurde einbezogen, um auch hier Effekte des Trainingsprogramms auf alltagstypische Verrichtungen und die damit verbundene Dyspnoe evaluieren zu können. Zuletzt sollten mittels des 6-Minuten-Gehstreckentests und des TAF mögliche Transfer-Effekte überprüft werden [18].

Mittels einer visuellen Analogskala (VAS von 10 cm) wurde die subjektiv erlebte Atemnot vor und nach dem 6MT und dem TAF erfasst [19].

Eine Borg-Skala erlaubte jeweils nach Belastung beim 6MT und TAF die Erfassung des subjektiven Belastungsgefühls [20].

### Trainingsprogramm

Das Ausdauertraining erfolgte mit submaximaler Belastung nach Festlegung der Trainingsintensität ( $70\% W_{\max}$ ) mit drehzahlunabhängigen Ergometern der Fa. Ergoline, Bitz. Dies wurde dreimal wöchentlich für jeweils 20 min unter EKG- und RR-Kontrolle durchgeführt. Bei Patienten mit supplementärer O<sub>2</sub>-Gabe (LOX) wurde zusätzlich die Sauerstoffsättigung

kontrolliert und der O<sub>2</sub>-Fluss auf eine Mindestsättigung von 90% automatisch reguliert [21].

Der Trainingsplan für das Krafttraining (3 × pro Woche) wurde anhand des Eingangskrafttests kraftausdauerorientiert auf 40% der berechneten Maximalkraftleistung mit 2–4 Serien à 20–25 Wiederholungen pro Trainingseinheit festgelegt, zumal die im Alltag vorkommenden Belastungen eher motorischen Beanspruchungsformen, die im Kraftausdauerbereich angesiedelt sind, entsprechen. Entsprechend wurden in den einzelnen Übungen unterschiedliche Muskelgruppen beansprucht.

1. Haltungsstabilisator vorwärts (Arm- und Brustmuskulatur)
2. Haltungsstabilisator rückwärts (Arm- und obere Rückenmuskulatur)
3. Pull-down (Oberkörpermuskulatur)
4. Beinstemme (Beinmuskulatur)
5. Kniestrecker (Beinextensionsmuskulatur)

Die Übungen 1–3 definieren den „Oberkörper-Kraft-Index“, die Übungen 4 und 5 den „Bein-Kraft-Index“.

Das Kombinationstraining wurde entsprechend den oben festgelegten Programmen für Ausdauer resp. Krafttraining (je 3 × pro Woche) durchgeführt.

Zusätzlich wurden alle Patienten neben täglichen Atemgymnastik-Übungen in einem strukturierten Schulungsprogramm (2 Stunden/Woche) in der Anatomie und Physiologie der Atemwege, der Krankheitslehre und deren spezieller Medikation, Atemtechniken, insbesondere atemerleichternde Stellungen und Peak-flow-Monitoring unterwiesen.

Weitere Maßnahmen waren, wenn nötig, psychologische Therapien in Form von Einzel- und Gruppengesprächen sowie Entspannungsverfahren (progressive Muskelrelaxation, Autogenes Training).

## Statistik

Die Auswirkungen des Reha-Programms wurden mittels t-Test für verbundene Stichproben auf signifikante Unterschiede hin untersucht, die Gruppen bezügl. Unterschiede zu den einzelnen Messzeitpunkten durch die ANOVA überprüft. Unterschiede mit einem p-Wert <0,05 wurden als signifikant definiert.

## Ergebnisse

### Anthropometrische Daten

69 Patienten (44 Männer, 25 Frauen) wurden in die Studie eingebunden, von denen 37 Patienten ohne (P1–P3), 32 Patienten (P4–P6) mit Sauerstoff trainierten. Die demographischen Daten sind in Tab. 1 dargestellt.

### Lungenfunktion

Die Lungenfunktionsdaten zu Beginn (T1) und am Ende der Untersuchung (T2) sind für das FEV<sub>1</sub> in Tab. 2 und für den Tiffeneau-Index (FEV<sub>1</sub>/IVC) in Tab. 3 dargestellt. Signifikante Unterschiede für das FEV<sub>1</sub> (absolut und % pred.) zeigt dabei

Tab. 1 Anthropometrische Merkmale (Standardabweichungen ± Mittelwerte)

	n (m/f)	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)
P1: Ausdauertraining	14 (6/8)	66,4 ± 5,4	165,6 ± 9,3	73,9 ± 14,5
P2: Krafttraining	13 (7/6)	66,5 ± 7,6	164,9 ± 8,9	75,9 ± 16,3
P3: Ausdauer- und Krafttraining	10 (7/3)	61,3 ± 10,9	169,6 ± 7,6	77,9 ± 23,2
P4: Ausdauertraining mit LOX	12 (8/4)	66,3 ± 8,8	168,5 ± 4,8	68,8 ± 16,3
P5: Krafttraining mit LOX	10 (7/3)	65,4 ± 8,9	172,8 ± 10,6	73,8 ± 12,5
P6: Ausdauer- und Krafttraining mit LOX	10 (9/1)	65,3 ± 4,0	168,4 ± 8,6	73,2 ± 16,8

bei T1 die Gruppe P4 im Vergleich zu den Gruppen P1 und P2 sowie die Gruppe P2 für das FEV<sub>1</sub> (% pred.) im Vergleich zu P6.

Im Verlauf weisen die Gruppen P1 und P3 eine signifikante Zunahme, die Gruppe P5 eine signifikante Abnahme des FEV<sub>1</sub> (absolut als auch % pred.) auf.

Der Tiffeneau-Index zeigt weder zwischen den Gruppen noch im Verlauf signifikante Änderungen.

### Arterielle Blutgase

Die PaO<sub>2</sub>-Werte der Gruppen P1–P3 bei T1 sind deutlich über denen der Gruppen P4–P6, auch wenn nur die Werte der Gruppe P2 Signifikanzniveau erreichen. Hinsichtlich der PaCO<sub>2</sub>-Werte sind sowohl zwischen den Gruppen als auch im Verlauf keine signifikanten Unterschiede zu messen (Tab. 4).

### 6-Minuten-Gehstreckentest (6MT)

Die mittleren Gehstrecken der Gruppen P1–P3 bei T1 sind deutlich über denen mit Sauerstoff trainierenden Gruppen P4–P6 und weisen im Vergleich zu Gruppe P5, die Gruppen P1 und P2 im Vergleich zu P4 signifikante Unterschiede auf. Alle Gruppen außer P2 steigern im Verlauf die Gehstrecke signifikant (Tab. 5, Abb. 1).

### Test alltagsnaher Fertigkeiten (TAF)

Alle Gruppen ohne O<sub>2</sub>-Gabe benötigen beim Eingangstest unter 2 min, die mit O<sub>2</sub>-Gabe über 3–4 min. Zu T1 unterscheiden sich die Gruppen P1–P3 signifikant von P4, die Gruppe P1 signifikant zu P6. Zum Zeitpunkt T2 können alle Gruppen, die Gruppen P1, P3, P5 und P6 signifikant, die benötigte Zeit reduzieren (Tab. 6, Abb. 2).

### Submaximaler Krafttest

Aus dem Krafttest für den Oberkörper (Haltungsstabilisator vorwärts, Haltungsstabilisator rückwärts und Pull-down) wurden für die Gruppen P2, P3, P5 und P6 ein Oberkörper-Kraft-Index ermittelt. Für die Berechnung des Bein-Kraft-Index wurden entsprechend die Steigerungen in den Kraft-Tests der Beinmuskulatur (BeinSTEMME und BeinSTRECKER)

Tab. 2 FEV<sub>1</sub> (Mittelwerte ± Standardabweichungen)

	Sollwert: FEV <sub>1</sub> (l)	T1: FEV <sub>1</sub> (l)	T2: FEV <sub>1</sub> (l)	Differenz FEV <sub>1</sub> (l)	T1: FEV <sub>1</sub> (% pred.)	T2: FEV <sub>1</sub> (% pred.)	Differenz FEV <sub>1</sub> (% pred.)
P1:	2,5 ± 0,5	1,5 ± 0,7 <sup>4)</sup>	1,6 ± 0,7	0,1 ± 0,2*	59,4 ± 18,2 <sup>4)</sup>	64,9 ± 15,4	5,6 ± 6,8* <sup>5)</sup>
P2:	2,5 ± 0,6	1,5 ± 0,4 <sup>4)</sup>	1,5 ± 0,3	0,03 ± 0,1	62,8 ± 17,0 <sup>4), 6)</sup>	64,2 ± 16,8	1,5 ± 5,2
P3:	2,9 ± 0,4	1,4 ± 0,6	1,6 ± 0,6	0,2 ± 0,2* <sup>5)</sup>	46,7 ± 15,7	53,4 ± 15,0	6,8 ± 6,9* <sup>5)</sup>
P4:	2,7 ± 0,4	0,8 ± 0,3 <sup>1), 2)</sup>	0,9 ± 0,3	0,1 ± 0,1	30,7 ± 9,7 <sup>1), 2)</sup>	33,5 ± 10,6	2,9 ± 5,8
P5:	2,8 ± 0,9	1,1 ± 0,2	0,9 ± 0,2	-0,2 ± 0,2* <sup>3)</sup>	47,6 ± 22,3	40,0 ± 22,1	-7,5 ± 8,6* <sup>1), 3)</sup>
P6:	2,8 ± 0,5	1,1 ± 0,4	0,1 ± 0,4	0,1 ± 0,4	38,6 ± 10,5 <sup>2)</sup>	40,1 ± 11,6	1,5 ± 12,5

<sup>1)</sup> signifikanter Unterschied zu P1, <sup>2)</sup> signifikanter Unterschied zu P2, <sup>4)</sup> signifikanter Unterschied zu P4, \*p < 0,05

Tab. 3 FEV<sub>1</sub>/IVC [%] (Mittelwerte ± Standardabweichungen)

	Sollwert: FEV <sub>1</sub> (%)	T1: FEV <sub>1</sub> /IVC (%)	T2: FEV <sub>1</sub> /IVC (%)	Differenz FEV <sub>1</sub> /IVC (%)	T1: FEV <sub>1</sub> /IVC (% pred.)	T2: FEV <sub>1</sub> /IVC (% pred.)	Differenz FEV <sub>1</sub> /IVC (% pred.)
P1:	76,0 ± 1,3	52,4 ± 13,8	55,2 ± 13,0	2,8 ± 7,0	69,1 ± 18,7	72,7 ± 17,4	3,6 ± 9,1
P2:	75,8 ± 1,5	54,8 ± 13,2	54,7 ± 12,3	-0,1 ± 3,6	72,3 ± 17,8	70,6 ± 15,8	-1,8 ± 6,5
P3:	76,6 ± 2,2	53,2 ± 18,5	53,8 ± 16,3	0,6 ± 4,4	69,5 ± 24,5	70,3 ± 21,9	0,8 ± 5,7
P4:	75,7 ± 1,9	40,7 ± 6,1	37,4 ± 4,9	-3,4 ± 6,2	53,8 ± 7,9	49,3 ± 6,9	-4,5 ± 8,3
P5:	75,8 ± 1,7	39,1 ± 4,0	38,1 ± 7,6	-1,0 ± 6,5	52,0 ± 5,4	50,4 ± 9,7	-1,5 ± 8,2
P6:	75,6 ± 0,8	42,6 ± 11,7	44,8 ± 8,9	2,3 ± 13,3	56,1 ± 15,2	59,2 ± 12,0	3,1 ± 17,5

Tab. 4 Arterielle Blutgase PaO<sub>2</sub> und PaCO<sub>2</sub> (Mittelwerte ± Standardabweichungen)

	T1: O <sub>2</sub> -Partialdruck (mm Hg)	T2: O <sub>2</sub> -Partialdruck (mm Hg)	Differenz im PaO <sub>2</sub> (mm Hg)	T1: CO <sub>2</sub> -Partialdruck (mm Hg)	T2: CO <sub>2</sub> -Partialdruck (mm Hg)	Differenz im PaCO <sub>2</sub> (mm Hg)
P1:	65,5 ± 10,9	67,9 ± 5,8	2,4 ± 9,8	36,4 ± 3,8	37,2 ± 3,7	0,7 ± 2,2
P2:	69,9 ± 9,7 <sup>4), 5), 6)</sup>	70,6 ± 4,7	0,7 ± 6,7	36,5 ± 6,4	36,9 ± 6,3	0,4 ± 3,5
P3:	62,0 ± 9,7	65,7 ± 9,1	3,7 ± 10,2	40,6 ± 6,5	40,8 ± 4,7	0,2 ± 2,8
P4:	54,6 ± 6,7 <sup>2)</sup>	62,4 ± 9,2	7,8 ± 6,2*	44,5 ± 8,1	40,7 ± 6,2	-3,8 ± 6,1
P5:	53,8 ± 5,8 <sup>2)</sup>	56,0 ± 5,7	2,2 ± 6,5	41,0 ± 6,8	40,5 ± 8,4	-0,4 ± 8,6
P6:	53,6 ± 6,7 <sup>2)</sup>	58,1 ± 8,5	4,6 ± 8,7	40,9 ± 8,1	41,8 ± 9,7	0,9 ± 1,9

<sup>2)</sup> signifikanter Unterschied zu P2, <sup>4)</sup> signifikanter Unterschied zu P4, <sup>5)</sup> signifikanter Unterschied zu P5, <sup>6)</sup> signifikanter Unterschied zu P6, \*p < 0,05

Tab. 5 6-Minuten-Gehstreckentest: Gehstrecke, Dyspnoe und Belastungsempfinden (Mittelwerte ± Standardabweichungen)

	T1: Gehstrecke (m)	T2: Gehstrecke (m)	Differenz Gehstrecke	T1: Dyspnoe	T2: Dyspnoe	Differenz Dyspnoe	T1: Belastungsempfinden	T2: Belastungsempfinden	Differenz im Belastungsempfinden
P1:	412,9 ± 91,0 <sup>4), 5), 6)</sup>	489,3 ± 98,7	76,4 ± 58,3*	4,3 ± 1,7	1,9 ± 1,3	-2,4 ± 1,8* <sup>4)</sup>	12,6 ± 2,0	11,4 ± 1,4	-1,2 ± 2,5
P2:	398,1 ± 47,5 <sup>4), 5)</sup>	457,7 ± 121,7	59,6 ± 101,5	3,4 ± 2,0	2,5 ± 2,1	-0,8 ± 2,3	12,4 ± 2,5	12,3 ± 2,9	-0,1 ± 2,4
P3:	356,5 ± 87,8 <sup>5)</sup>	427,5 ± 208,6	71,0 ± 41,2*	4,7 ± 2,0	3,8 ± 2,3	-0,9 ± 1,1*	12,8 ± 2,1	12,6 ± 2,0	-0,2 ± 1,4
P4:	251,8 ± 79,4 <sup>1), 2)</sup>	335,0 ± 88,9	83,2 ± 65,6*	4,9 ± 2,4	5,4 ± 2,3	0,5 ± 2,0 <sup>1)</sup>	14,1 ± 1,8	13,6 ± 1,9	-0,5 ± 1,6
P5:	188,9 ± 85,6 <sup>1), 2), 3)</sup>	258,3 ± 99,8	69,4 ± 41,1*	4,7 ± 2,7	4,3 ± 1,6	-0,3 ± 1,8	13,8 ± 1,9	14,0 ± 2,4	0,2 ± 1,1
P6:	295,5 ± 72,0 <sup>1)</sup>	377,2 ± 65,3	81,7 ± 51,9*	5,8 ± 1,1	5,5 ± 2,2	-0,2 ± 2,6	13,6 ± 2,0	13,6 ± 0,7	-0,04 ± 1,7

<sup>1)</sup> signifikanter Unterschied zu P1, <sup>2)</sup> signifikanter Unterschied zu P2, <sup>3)</sup> signifikanter Unterschied zu P3, <sup>4)</sup> signifikanter Unterschied zu P4, <sup>5)</sup> signifikanter Unterschied zu P5, <sup>6)</sup> signifikanter Unterschied zu P6, \*p < 0,05

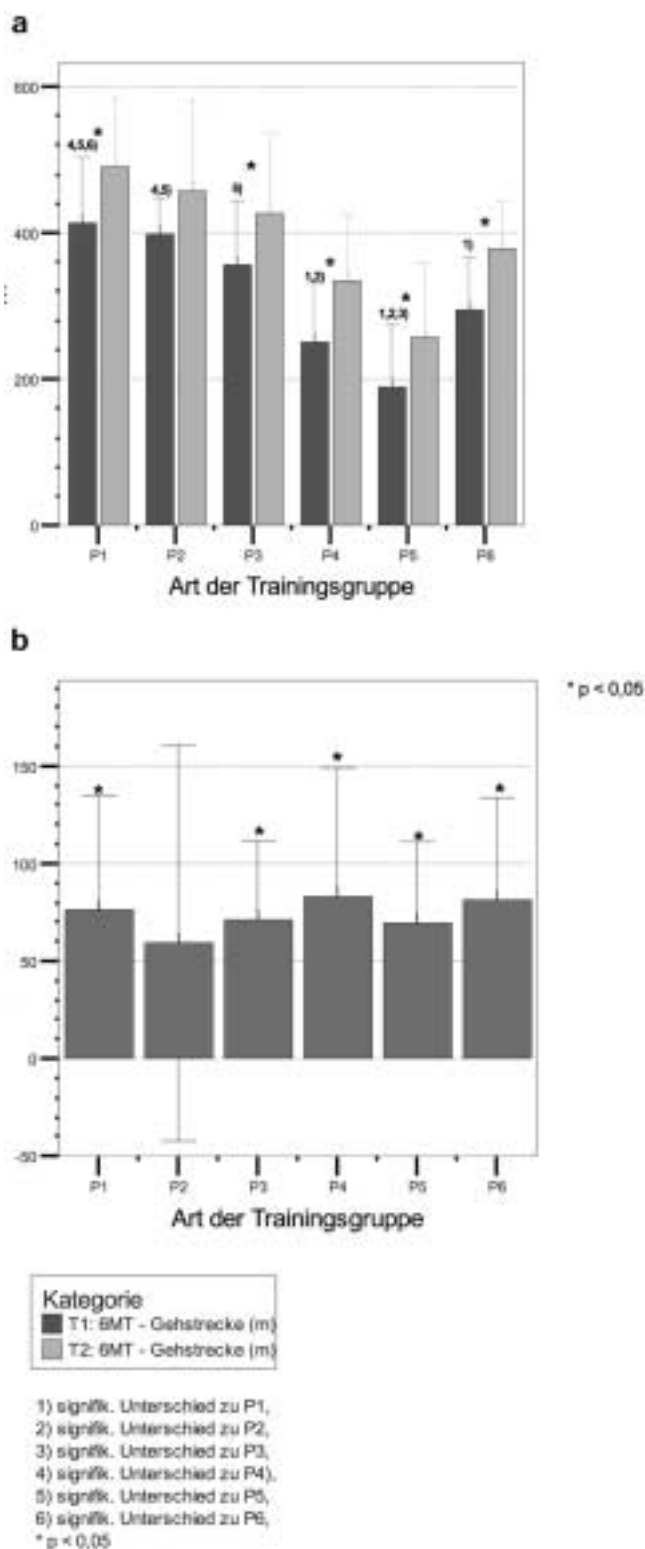


Abb. 1 6-Minuten-Gehstreckentest (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen): (a) Gehstrecke [m] zu T1 und T2, (b) Differenz der Gehstrecke [m].

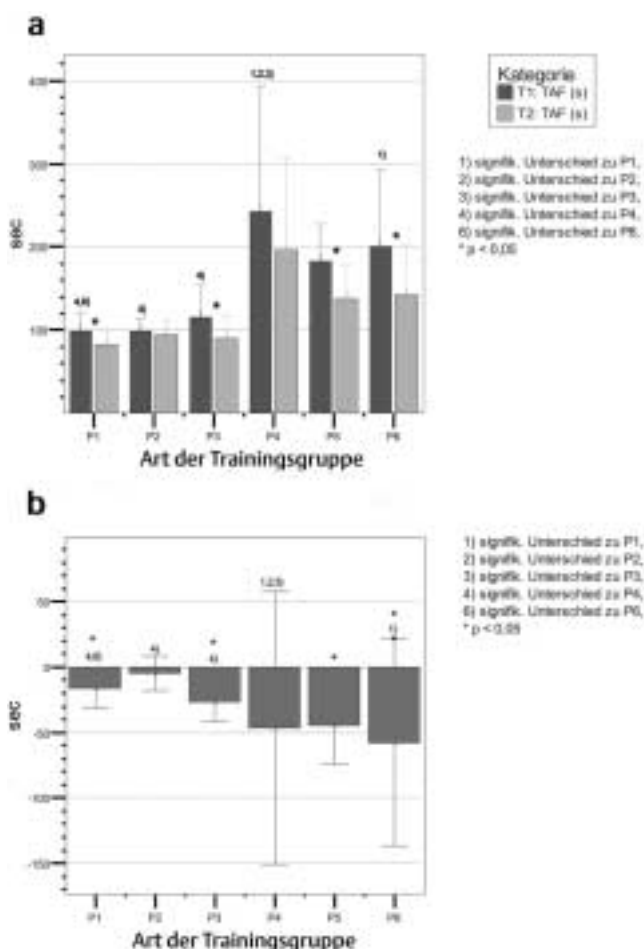


Abb. 2 Test alltagsmotorischer Fertigkeiten (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen): (a) benötigte Zeit [s] zu T1 und T2, (b) Differenz der benötigten Zeit [s].

berücksichtigt (Tab. 7, Abb. 3). Hinsichtlich der Beinkraft unterscheiden sich zu T1 die mit Sauerstoff trainierenden Patienten signifikant von den nicht sauerstoffpflichtigen Patienten. Im Verlauf steigern die Gruppen P2, P3 und P5 signifikant den Oberkörper-Kraft-Index, die Gruppen P2 und P5 signifikant den Bein-Kraft-Index.

#### Fahrradergometertest

Die maximale Belastbarkeit aller Gruppen steigt im Verlauf an, wobei die ohne Sauerstoff trainierenden Gruppen P1 und P3 Signifikanzniveau erreichen (Tab. 8, Abb. 4).

#### Dyspnoe

##### Dyspnoe – 6MT

Die Trainingsgruppen unterscheiden sich in ihrer subjektiven Einschätzung der Dyspnoe bei T1 nicht signifikant voneinander. Mit Ausnahme von P4 zeigen alle am Ende des Trainings (T2) reduzierte Dyspnoewerte bei verbesserter Gehstreckenleistung und erreichen in den Gruppen P1 und P3 Signifikanzniveau (Tab. 5, Abb. 5).

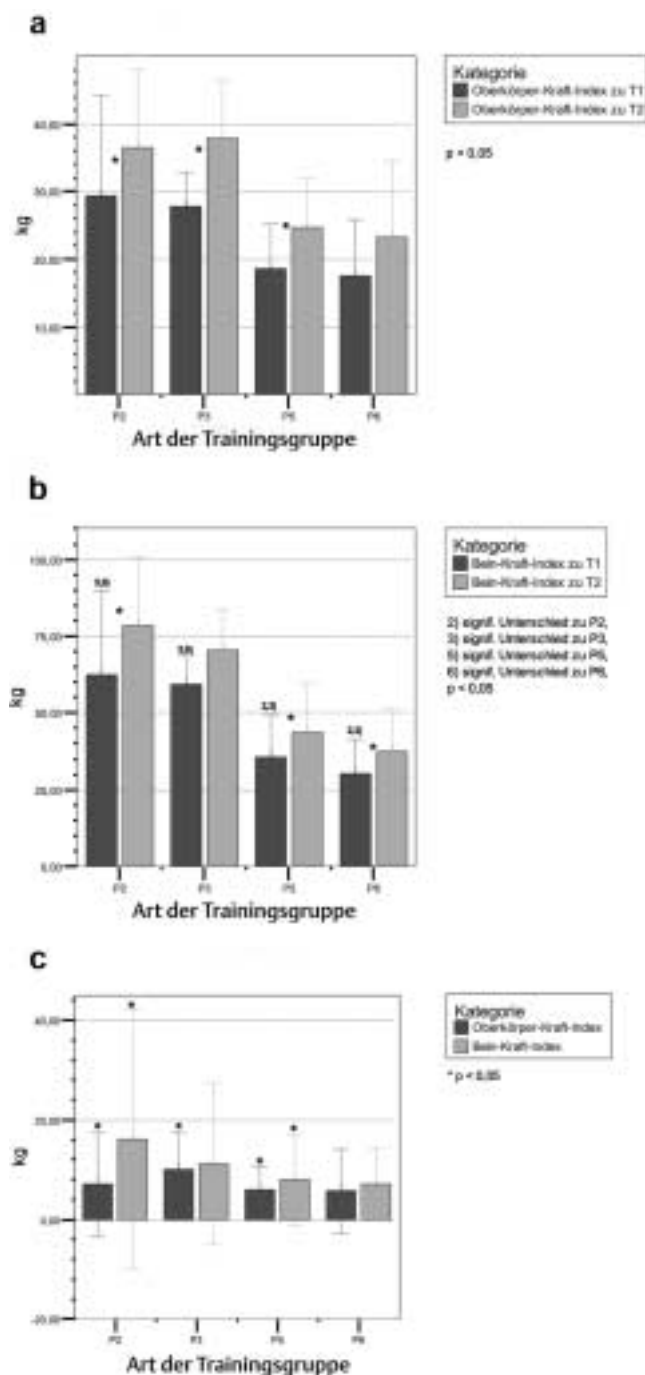


Abb. 3 Veränderung der Maximalkraft-Indizes (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen): (a) Oberkörper-, (b) Beinmuskulatur und (c) deren Differenz.

#### Dyspnoe – TAF

Vergleichbar zum 6-Minuten-Gehstreckentest ist auch beim TAF zu Beginn kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festzustellen. Im Verlauf verringern alle Gruppen bei T2 ihr Dyspnoeempfinden, die Gruppen P1 und P5 signifikant (Tab. 6, Abb. 5).

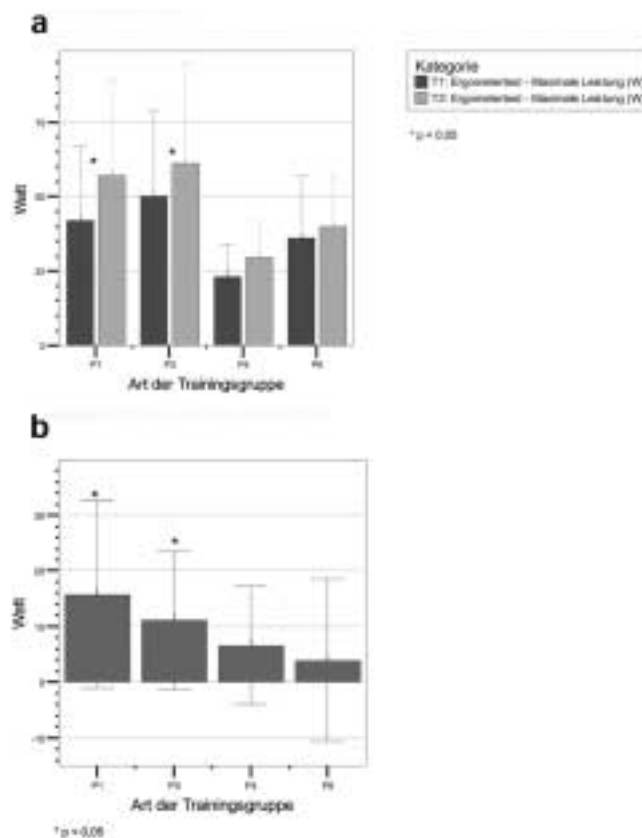


Abb. 4 Fahrradergometertest (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen): (a) Maximale Leistungsfähigkeit (Watt) zu T1 und T2, (b) Differenz der maximalen Leistungsfähigkeit (Watt).

Eine vergleichende Darstellung der Veränderungen der Dyspnoe-Perzeption für den 6MT und TAF ist in Abb. 5 dargestellt.

#### Belastungsempfinden

##### Belastungsempfinden – 6MT

Das subjektiv wahrgenommene Belastungsgefühl nach dem 6MT unterscheidet sich weder zwischen den Gruppen bei T1 noch zeigt es im Verlauf signifikante Änderungen, auch wenn eine gesteigerte Gehstreckenleistung erbracht wird (Tab. 5).

##### Belastungsempfinden – TAF

Das Belastungsempfinden beim TAF zeigt nur in der Gruppe P1 im Verlauf eine signifikante Reduktion. Zu Beginn ist P2 signifikant niedriger als P6 (Tab. 6).

#### Diskussion

Die drei durchgeführten Trainingsformen sind für Patienten mit chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen effektiv. Alle Gruppen zeigen einen deutlichen Zugewinn an Belastbarkeit bei gleichzeitiger Besserung der Dyspnoe. Als Trainingsformen wählten wir das Fahrradergometer- und Krafttraining, jeweils allein oder in Kombination. Diese Trainingsformen

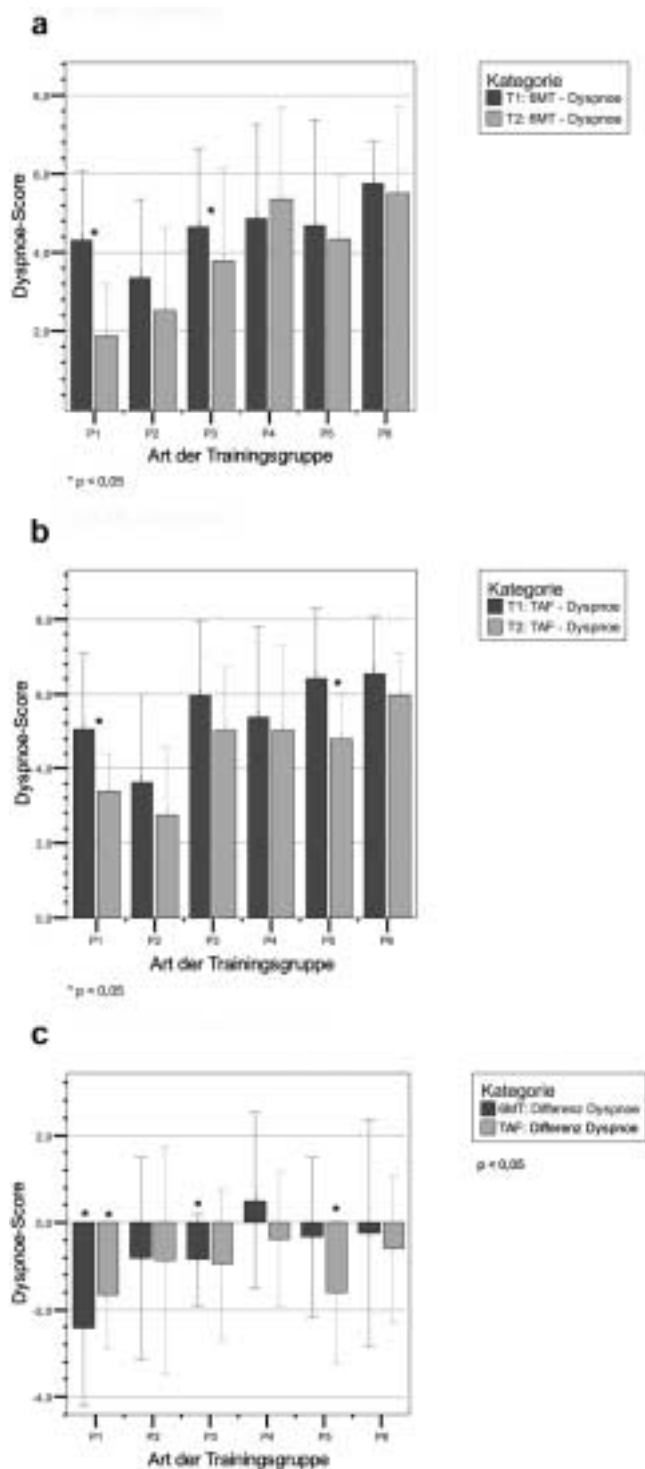


Abb. 5 Dyspnoe-Scores (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen) ermittelt durch visuelle Analogskala bei (a) 6-Minuten-Gehstreckentests (6MT), (b) Test alltagsmotorischer Fertigkeiten (TAF), (c) Differenzen der Dyspnoe-Scores im 6MT und TAF.

schließen, da nicht direkt mit der Art der Belastung beim 6-Minuten-Gehstreckentest vergleichbar, einen möglichen, die Gehstrecke steigernden Lerneffekt aus [22].

Die Steigerungen im 6MT sind dabei nicht, wie in den Studien von Mungall et al., Sinclair et al. und Alfaro et al. berichtet, mit einer Besserung der Atemwegsobstruktion oder Verbesserung der Oxygenierung zu erklären [23–25]. Ihr stabiler Verlauf ist vergleichbar mit den zuletzt von Berry et al., O'Donnell et al. und Holden et al. berichteten Ergebnissen und unter anderem erklärt durch den Ausschluss von Patienten mit kürzlich durchgemachten Atemwegsinfekten und asthmoider Komponente [7,26,28]. Die Steigerungen im 6MT sind mit 59,6 m  $\pm$  83, 2 m (15, 1%–36, 5%) vergleichbar mit den Ergebnissen von Cockcroft et al. und Atkins et al. und schließen damit zu diskutierende Lerneffekte aus [28,29].

Über ähnliche Zugewinne mit im Mittel 55,7 m (27,8–92,8 m) berichten Lacasse et al. in einer Meta-Analyse, in der elf Publikationen respektive 413 Patienten berücksichtigt wurden [30]. Während in den meisten, zuletzt auch hier zitierten Studien die Trainingsprogramme zwischen sechs und acht Wochen dauerten, konnten wir vergleichbare Effekte in bereits drei Wochen erzielen. Auffällig war dabei, dass die größten prozentualen Zugewinne im 6MT in den mit Sauerstoff trainierenden Gruppen P4–P6, die größten absoluten Zugewinne in den Gruppen P4 und P6 zu finden waren. Dies ermutigt bzw. verpflichtet sogar, gerade Patienten mit bereits weit fortgeschrittenen Erkrankungen in ein Rehaprogramm einzubinden. Um einer progredienten Hypoxämie unter Belastung und dadurch bedingt weiteren Verschlechterung der Belastbarkeit vorzubeugen, trainierten diese Patienten mit supplementärem Sauerstoff bei Flussraten, die die Sättigung über 90% hielten [31–33].

Ein möglicher Nutzen der O<sub>2</sub>-Gabe ist eine weitere Reduktion der Atemarbeit und Atemfrequenz mit dadurch bedingtem Absenken der den pulmonal-arteriellen Mitteldruck unter Belastung negativ beeinflussenden FRC [34,35]. Auf eine, wenn auch nicht anhaltende Steigerung der Trainingslast machten McDonald et al. [36] in Akutstudien aufmerksam, die Payen et al. [37] mit einer Verbesserung des oxidativen Stoffwechsels erklären. Incalzi et al. beschreiben unter Sauerstoffgabe eine Zunahme der Ausdauerleistung, einen verbesserten Laktatstoffwechsel sowie eine schnellere Erholungszeit der nach körperlicher Anstrengung erschöpften Muskulatur [38].

Der günstige Einfluss von Sauerstoff unterstützt die Auswirkungen eines Ausdauertrainings oberhalb der anaeroben Schwelle durch eine weitere Senkung des Laktatspiegels im Verlauf des Trainingsprogramms neben einer Minderung des Atemminutenvolumens. Letzteres zeigt sich am Ende des Rehaprogramms bei diesen Patienten mit einer Minderung der Dyspnoe bei vergleichbarer Trainingslast [6]. Die eingeschränkte oxidative Kapazität des Skelettmuskels sowie histochemische und morphologische Veränderungen, bei diesen Patienten ursächlich für die eingeschränkte Belastbarkeit, belegen Untersuchungen von Maltais et al. und Whittom et al. [39,40].

Neben dem Ausdauertraining tragen auch spezielle Trainingsformen für die oberen respektive unteren Extremitäten zum Rehaerfolg bei, klagten nicht selten Patienten über Funktionseinschränkungen, die das morgendliche Ankleiden oder Rasieren schon zur Qual werden lassen. Die Bedeutung einer schwindenden peripheren Muskulatur belegen Untersuchun-



Tab. 6 Test alltagsmotorischer Fertigkeiten: Dauer, Dyspnoe und Belastungsempfinden (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen)

	T1: Zeit (s)	T2: Zeit (s)	Differenz Zeit (s)	T1: Dyspnoe	T2: Dyspnoe	Differenz Dyspnoe	T1: Belastungsempfinden	T2: Belastungsempfinden	Differenz Belastungsempfinden
P1:	99,0 $\pm$ 22,0 <sup>4, 6)</sup>	82,6 $\pm$ 16,5	- 16,4 $\pm$ 14,6*	5,1 $\pm$ 2,0	3,4 $\pm$ 1,0	- 1,6 $\pm$ 1,3*	13,6 $\pm$ 1,8	12,8 $\pm$ 1,0	- 0,9 $\pm$ 1,4*
P2:	99,6 $\pm$ 14,4 <sup>4)</sup>	94,9 $\pm$ 18,1	- 4,8 $\pm$ 13,2	3,6 $\pm$ 2,4	2,8 $\pm$ 1,8	- 0,9 $\pm$ 2,6	12,8 $\pm$ 1,6 <sup>6)</sup>	12,5 $\pm$ 2,2	- 0,3 $\pm$ 1,9
P3:	116,3 $\pm$ 38,0 <sup>4)</sup>	90,1 $\pm$ 28,0	- 26,2 $\pm$ 16,0*	5,9 $\pm$ 2,0	5,0 $\pm$ 1,7	- 0,9 $\pm$ 1,7	13,9 $\pm$ 1,5	13,2 $\pm$ 1,0	- 0,7 $\pm$ 1,5
P4:	242,1 $\pm$ 151,0 <sup>1, 2, 3)</sup>	195,6 $\pm$ 110,8	- 46,6 $\pm$ 104,7	5,4 $\pm$ 2,4	5,0 $\pm$ 2,3	- 0,4 $\pm$ 1,6	15,0 $\pm$ 2,6	15,1 $\pm$ 1,7	0,1 $\pm$ 1,4
P5:	182,6 $\pm$ 44,7	138,2 $\pm$ 40,7	- 44,4 $\pm$ 29,3*	6,4 $\pm$ 1,9	4,8 $\pm$ 1,2	- 1,6 $\pm$ 1,6*	14,2 $\pm$ 0,9	14,2 $\pm$ 0,9	0,0 $\pm$ 1,5
P6:	200,0 $\pm$ 93,7 <sup>1)</sup>	142,4 $\pm$ 59,1	- 57,6 $\pm$ 79,1*	6,6 $\pm$ 1,5	5,6 $\pm$ 1,1	- 0,6 $\pm$ 1,7	15,6 $\pm$ 1,8 <sup>2)</sup>	13,8 $\pm$ 1,6	- 1,8 $\pm$ 2,7

<sup>1)</sup> signifikanter Unterschied zu P1, <sup>2)</sup> signifikanter Unterschied zu P2, <sup>3)</sup> signifikanter Unterschied zu P3, <sup>4)</sup> signifikanter Unterschied zu P4, <sup>6)</sup> signifikanter Unterschied zu P6, \*p < 0,05

Tab. 7 Veränderung des Maximalkraft-Index für Oberkörper- und Beinmuskulatur (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen)

	T1: Oberkörper-Kraft-Index (kg)	T2: Oberkörper-Kraft-Index (kg)	Differenz Oberkörper-Kraft-Index (kg)	T1: Bein-Kraft-Index (kg)	T2: Bein-Kraft-Index (kg)	Differenz Bein-Kraft-Index (kg)
P2:	29,3 $\pm$ 15,0	36,5 $\pm$ 11,6	7,1 $\pm$ 10,5*	62,3 $\pm$ 27,5 <sup>5, 6)</sup>	78,5 $\pm$ 22,4	16,3 $\pm$ 26,2*
P3:	27,7 $\pm$ 5,2	37,9 $\pm$ 8,6	10,1 $\pm$ 7,6*	59,3 $\pm$ 9,1 <sup>5, 6)</sup>	70,5 $\pm$ 13,1	11,2 $\pm$ 16,2
P4:	18,6 $\pm$ 6,7	24,6 $\pm$ 7,3	6,0 $\pm$ 4,7*	35,5 $\pm$ 14,0 <sup>2, 3)</sup>	43,6 $\pm$ 16,0	8,1 $\pm$ 9,2*
P5:	17,5 $\pm$ 8,4	23,2 $\pm$ 11,3	5,7 $\pm$ 8,4	30,4 $\pm$ 10,9 <sup>2, 3)</sup>	37,5 $\pm$ 13,9	7,1 $\pm$ 7,3

<sup>2)</sup> signifikanter Unterschied zu P2, <sup>3)</sup> signifikanter Unterschied zu P3, <sup>5)</sup> signifikanter Unterschied zu P5, <sup>6)</sup> signifikanter Unterschied zu P6, \*p < 0,05

Tab. 8 Fahrradergometertest (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichungen)

	T1: Maximale Leistung (W)	T2: Maximale Leistung (W)	Differenz in der maximalen Leistung (W)	T1: Relative maximale Leistung (W/kg KG)	T2: Relative maximale Leistung (W/kg KG)	Differenz in der relativen maximalen Wattzahl (W/kg KG)
P1:	41,8 $\pm$ 25,2	57,1 $\pm$ 31,8	15,4 $\pm$ 16,3*	0,6 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,3	0,2 $\pm$ 0,2*
P3:	50,0 $\pm$ 28,9	61,1 $\pm$ 33,6	11,1 $\pm$ 12,4*	0,6 $\pm$ 0,3	0,7 $\pm$ 0,3	0,1 $\pm$ 0,1*
P4:	22,9 $\pm$ 11,0	29,6 $\pm$ 12,0	6,6 $\pm$ 10,5	0,3 $\pm$ 0,2	0,4 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,2
P6:	36,1 $\pm$ 20,8	40,0 $\pm$ 17,5	3,9 $\pm$ 14,6	0,5 $\pm$ 0,3	0,6 $\pm$ 0,2	0,0 $\pm$ 0,2

\* p < 0,05

gen am M. quadriceps, der wesentlich zum 6-Minuten-Gehstreckentest und zur maximalen Sauerstoffaufnahme beiträgt. Den direkten Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Atemwegsobstruktion und einer peripheren Muskelschwäche zeigten Bernard et al. [3]. Hier ist ein individuelles spezifisches Muskelaufbautraining sinnvoll [41–43].

Die Kombination des Ausdauertrainings mit dem Muskelaufbautraining in den Gruppen P3 und P6 wurde von den Patienten trotz der weit fortgeschrittenen Erkrankung in der letzteren gut toleriert. Weitere positive Effekte im Vergleich zu den beiden einzelnen Trainingsformen, konnten aber, wie auch bei Bernard et al., nicht durchgehend beobachtet werden [44]. Ein Vorteil des Kombinationstraining ist der die Knochenmasse steigernde Effekt des Krafttrainings, der für Patienten mit COPD, die eine hohe Prävalenz an Osteoporose aufweisen, günstig ist [45,46].

Neben einer Steigerung der Gehstrecke respektive Abnahme der benötigten Zeit im TAF konnten alle Gruppen bis auf P4

im Gehstreckentest die Dyspnoe senken. Eine Besserung des subjektiven Belastungsgefühls ist weniger ausgeprägt. Ein vergleichbarer positiver Effekt auf die Belastbarkeit hemmende Dyspnoe wird auch in den Untersuchungen von O'Donnell et al., Goldstein et al. und von Behnke et al. berichtet [4,43,47]. Eine anhaltende Sicherung der während der Rehamaßnahmen gewonnenen körperlichen Leistungsfähigkeit als auch Minderung der Dyspnoe ist aber nur möglich, wenn die Patienten nach der Entlassung analog der Untersuchung von Behnke et al., das erlernte Training weiter ausüben. Auch Wijkstra et al. konnten zeigen, dass ein häusliches Training mit zwei Belastungseinheiten pro Woche ausreicht, um einen anhaltenden Effekt über 18 Monate zu sichern [18].

Zusammenfassend belegt die Untersuchung, dass alle Patienten mit COPD von einem körperlichen Training profitieren. Patienten mit weit fortgeschrittener Erkrankung (P4–P6) profitieren deutlicher von einem Kraftausdauertraining (allein als auch in Kombination), während Patienten der Grup-



pen P1–P3 ein Ausdauertraining eher zu empfehlen ist. Neben einem Zugewinn an Leistungsfähigkeit erfahren die Patienten vor allem eine Verbesserung der die Leistungsfähigkeit und die Lebensqualität einschränkende Dyspnoe. Als Konsequenz dieser Ergebnisse empfehlen wir für Patienten mit COPD die Teilnahme an Rehabilitationsmaßnahmen bzw. nach entsprechender Anleitung eigenständiges häusliches Training.

## Literatur

- 1 Vital Statistics of the United States. 1988, Vol. II, Mortality, Part A. 90–110. Hyattville: MD, US Department of Health and Human Services, 1990
- 2 Young A. Rehabilitation of patients with pulmonary disease. *Ann Acad Med* 1983; 12: 410–416
- 3 Bernard S, LeBlanc P, Whittom F, Carrier G, Jobin J, Belleau R, Maltais F. Peripheral muscle weakness in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Crit Med* 1998; 158: 629–634
- 4 Goldstein RS, Gart EH, Stubbing D, Avendado MA, Guyatt GH. Randomised controlled trial of respiratory rehabilitation. *Lancet* 1994; 344: 1394–1397
- 5 Ries AC, Kaplan RM, Limberg TM, Prewitt LM. Effects of pulmonary rehabilitation on physiologic and psychosocial outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Intern Med* 1995; 122: 823–832
- 6 Casaburi R, Patessio A, Ioli F, Zanaboni S, Donner CF, Wasserman K. Reductions in exercise lactat acidosis and ventilation as a result of exercise training in patients with obstructive lung disease. *Am Rev Respir Dis* 1991; 143: 9–18
- 7 O'Donnell DE, McGuire MA, Samis L, Webb KA. The impact of exercise reconditioning on breathlessness in severe chronic airflow limitation. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152: 2005–2013
- 8 Kirsten DK, Taube C, Lehnig KB, Jörres RA, Magnussen H. Exercise training improves recovery in patients with COPD after an acute exacerbation. *Respir Med* 1998; 92: 1191–1198
- 9 American Thoracic Society. Pulmonary Rehabilitation – 1999. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 1666–1682
- 10 Donner CF, Muir JF. Rehabilitation and chronic care scientific group of the European Respiratory Society. Selection criteria and programmes for pulmonary rehabilitation in COPD patients. *Eur Respir J* 1997; 10: 744–757
- 11 Worth H, Meyer A, Folgering H, Kirsten D, Lecheler J, Magnussen H, Pleyer K, Schmidt S, Schmitz M, Taube K, Wettengel R. Empfehlungen der Deutschen Atemwegsliga zum Sport und körperlichen Training bei Patienten mit obstruktiven Atemwegserkrankungen. *Pneumologie* 2000; 54: 61–67
- 12 Quanjer PH. Standardized lung function testing. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1983; 5: 1–92
- 13 Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Peterson OF, Peslin R, Yernault JC. Lung Volumes and forced ventilatory flows. *Eur Respir J* 1993; 6 (Suppl 16): 5–40
- 14 Deutsche Gesellschaft für Pneumologie. Empfehlungen zur Durchführung und Bewertung von Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie. *Pneumologie* 1998; 52: 225–231
- 15 Gustavsen R, Streeck R. Trainingstherapie im Rahmen der Manuellen Medizin. Stuttgart: Thieme, 1997: 53
- 16 Wegner RE, Jörres RA, Kirsten DK, Magnussen H. Factor analysis of exercise capacity, dyspnoe ratings and lung function in patients with severe COPD. *Eur Respir J* 1994; 7: 725–729
- 17 Guyatt GH. The use of the six-minute walk test as an outcome measure in clinical trials in chronic heart failure. *Heart failure* Oct/Nov 1987; 211–217
- 18 Wijkstra PJ, Van der Mark TB, Kraan J, Van Altena R, Koeter GH, Postma DS. Long-term effects of home rehabilitation on physical performance in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 153: 1234–1241
- 19 Mahler DA, Wells CK. Evaluation of clinical methods for rating dyspnoe. *Chest* 1988; 93: 580–586
- 20 Borg A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14: 377–381
- 21 Würtemberger G, Bösch W. Vorrichtung zur Zufuhr von Atemgas zu einem Patienten. München: Deutsches Patentamt, Nr. 4309923, 1995
- 22 Knox AJ, Morrisson JF, Moers MF. Reproducibility of walking test results in chronic obstructive airways disease. *Thorax* 1988; 43: 388–392
- 23 Mungall IPF, Hainsworth R. An objective assessment of the value of exercise training to patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Q J Med* 1980; 193: 77–85
- 24 Sinclair DJM, Ingram CG. Controlled trial of supervised exercise training in chronic bronchitis. *Br Med J* 1980; 1: 519–521
- 25 Alfaro V, Torras R, Prats MT, Palacios C, Ibanez J. Improvement in exercise tolerance and spirometric values in stable chronic obstructive pulmonary disease patients after an individualized outpatient rehabilitation programme. *J Sports Med Phys Fitness* 1996; 36: 195–203
- 26 Berry NJ, Rejeski WJ, Adair NE, Zaccaro W. Exercise rehabilitation and chronic obstructive pulmonary disease stage. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 160: 1248–1253
- 27 Holden WA, Stelmach KD, Curtis PS, Beck GJ, Stoller JK. The impact of a rehabilitation program on functional status of patients with chronic lung disease. *Respir Care* 1990; 35: 332–341
- 28 Cockcroft A, Saunders MJ, Berry G. Randomized controlled trial of rehabilitation in chronic respiratory disability. *Thorax* 1981; 36: 200–203
- 29 Atkins CJ, Kaplan RM, Timms RM, Reinsch S, Lofback D. Behavioral exercise programs in the management of chronic obstructive pulmonary disease. *J Consult Clin Psychol* 1984; 52: 591–603
- 30 Lacasse Y, Wong E, Guyatt GH, King D, Cook DJ, Goldstein RS. Meta-analysis of respiratory rehabilitation on chronic obstructive pulmonary disease. *Lancet* 1996; 348: 1115–1119
- 31 Barach AL. Ambulatory oxygen therapy: oxygen inhalation at home and out-of-doors. *Dis Chest* 1959; 35: 229–241
- 32 Barach AL, Bickerman HA, Beck G. Advances in treatment of non-tuberculous pulmonary disease. *Bull NY Acad Med* 1952; 28: 353–384
- 33 Wasserman K, Whipp BJ. Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis* 1975; 112: 219–249
- 34 Butler J, Schrijen F, Henriquez A, Polu J-M, Albert RK. Cause of raised wedge pressure on exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1988; 138: 350–354
- 35 O'Donnell DE, Webb KA. Exertional breathlessness in patients with chronic airflow limitation. The role of lung hyperinflation. *Am Rev Respir Dis* 1993; 148: 1351–1357
- 36 McDonald CF, Blyth CM, Lazarus MD, Marschner I, Barter CE. Exertional oxygen of limited benefit in patients with chronic obstructive disease and mild hypoxemia. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152: 1616–1619
- 37 Payen J, Wuyam B, Levy P. Muscular metabolism during oxygen supplementation in patients with chronic hypoxemia. *Am Rev Respir Dis* 1993; 147: 592–598
- 38 Incalzi RA, Fuso L, Rizzi T, Sammaro S, Dicorcia A, Albano A, Pistelli R. Acute oxygen supplementation does not relieve the impairment of respiratory muscle strength in hypoxemic COPD. *Chest* 1998; 113: 334–339

- <sup>39</sup> Maltais F, Simard A-A, Simard C, Jobin J, Desgagnés P, LeBlanc P. Oxidative capacity of the skeletal muscle and lactic acid kinetics during exercise in normal subjects and in patients with COPD. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 153: 288–293
- <sup>40</sup> Whittom F, Jobin J, Simard PM, LeBlanc P, Simard C, Bernard S, Belleau R, Maltais F. Histochemical and morphological characteristics of the vastus lateralis muscle in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 1467–1474
- <sup>41</sup> Ries AL, Allis B, Hawkins RW. Upper extremity exercise training in chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 1988; 93: 688–692
- <sup>42</sup> Lake FR, Henderson K, Briffa T, Openshaw J, Musk AW. Upper limb and lower limb exercise training in patients with chronic airflow obstruction. *Chest* 1990; 97: 1077–1082
- <sup>43</sup> O'Donnell DE, Webb KA, McGuire MA. Older patients with COPD: benefits of exercise training. *Geriatrics* 1993; 48: 59–66
- <sup>44</sup> Bernard S, Whittom F, LeBlanc P, Jobin J, Belleau R, Bérubé Ch, Carrier G, Maltais F. Aerobic and strength training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 896–901
- <sup>45</sup> Heinonen A, Kannus P, Sievanen H, Oja P, Pasanen M, Rinne M, Uusi-Rasi K, Vuori I. Randomized controlled trial of effect of high-impact exercise on selected risk factors for osteoporotic fractures. *Lancet* 1996; 348: 1343–1347
- <sup>46</sup> McEvoy CE, Ensrud KE, Bender E, Genant HK, Yu W, Griffith JM, Niewoehner DE. Association between corticosteroid use and vertebral fractures in older man with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 157: 704–709
- <sup>47</sup> Behnke M, Taube C, Kirsten D, Lehnigk B, Jörres RA, Magnussen H. Home-based exercise is capable of preserving hospital-based improvements in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med* 2000; 94: 1184–1191

PD Dr. med. G. Würtemberger

Karlstr. 81 A  
79104 Freiburg