

ORIGINALARBEIT

Elektromyostimulation (EMS) verbessert die Leistungsfähigkeit und die linksventrikuläre Funktion bei Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz

Frank van Buuren¹, Klaus Peter Mellwig¹, Christian Prinz¹, Tanja Kottmann¹,
Britta Körber¹, Andreas Fründ¹, Lothar Faber¹, Nicola Bogunovic¹, Johannes
Dahm³, Dieter Horstkotte¹, Dirk Fritzsche²

¹ Klinik für Kardiologie, Herz und Diabetes Zentrum NRW, Ruhr Universität
Bochum, Bad Oeynhausen

² Klinik für Herzchirurgie, SANA Herzzentrum Cottbus

³ Klinik für Kardiologie und Angiologie, Neu Bethlehem Krankenhaus, Göttingen

PERFUSION 2013; 26: 76–84

Die Elektromyostimulation der Skelettmuskulatur (EMS) ist eine neue Trainingsmethode, die sich in den Bereichen Fitness und Medical Fitness bereits etabliert hat und eine rasche Verbreitung findet. Für Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz (CHF) wurden sehr vielversprechende Effekte in verschiedenen Studien validiert [1, 34]. Die Methode basiert auf der elektrischen Stimulation großer Muskelgruppen, ohne dass der Patient bzw. der Trainierende selber aktive Bewegungen ausführt.

In der Vergangenheit wurde die EMS-Therapie bei kritisch kranken Patienten mit Muskeldystrophie, Skoliose oder Paraplegie angewandt [2]. Später wurde diese Trainingstherapie gelegentlich bei hochgradig eingeschränkten CHF-Patienten als zusätzliche, ergänzende Therapieform eingesetzt, um einer fortschreitenden Muskelatrophie entgegenzuwirken.

Neue Erkenntnisse führten zu einer Neubewertung der CHF als Systemerkrankung und nicht als isolierte Erkrankung des Herzens. Umfangreiche strukturelle und enzymologische Veränderungen der Skelettmuskulatur und neurohumorale und inflammatorische Systemdeviationen tragen ebenfalls wesentlich zu einer Belastungsintole-

Zusammenfassung

Fragestellung: Die Elektromyostimulation (EMS) hat sich als strategische Therapieoption für Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz (CHF) erwiesen. Ziel dieser Studie war es, die Wirkung unterschiedlicher Stimulationsstrategien auf wichtige Parameter der körperlichen Belastungstoleranz bei Patienten mit CHF zu untersuchen. Hierzu nutzten wir ein am Markt befindliches EMS-Trainingsgerät, das simultan 8 große Muskelareale elektrisch stimulieren kann (extensives EMS Training, exEMS), und verglichen die Ergebnisse mit einer Gruppe von Patienten, bei denen das EMS-Training ausschließlich auf die Gesäß- und Oberschenkelmuskulatur limitiert wurde (limEMS).

Patienten und Methode: Für ein EMS-Trainingsprogramm wurden stabile Patienten (NYHA II–III) mit chronischer Herzinsuffizienz rekrutiert. Das Training wurde über 10 Wochen, zweimal wöchentlich für 20 Minuten durchgeführt. 12 Patienten (10 männlich; mittleres Alter 62,17±12,6 Jahre) erhielten exEMS-Training, 12 Patienten (9 männlich, mittleres Alter 62,75±8,77 Jahre) erhielten limEMS Training. Untersucht wurden Auswirkungen auf die körperliche Belastungstoleranz, die Sauerstoffaufnahme, die linksventrikuläre Funktion und anerkannte Biomarker der CHF.

Ergebnisse: Es konnte ein signifikanter Anstieg der Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle nachgewiesen werden: bei exEMS von 14,7±3,42 auf 19,6±4,5 ml/kg/min (+32,65 %, p<0,001); bei limEMS von 13,6±3,0 auf 16,0±3,8 ml/kg/min (+17,6 %, p=0,003). Die linksventrikuläre Ejektionsfraktion stieg in der exEMS-Gruppe von 38,42±7,6 auf 45,21±8,6 % (+18,42 %, p=0,001) und in der Gruppe mit limEMS-Training von 37,1±3,0 auf 39,5±5,3 % (+6,5 %, p=0,27). Bei den Patienten mit CHF waren die Veränderungen hinsichtlich Sauerstoffaufnahme und Ejektionsfraktion in der exEMS-Gruppe größer als in der limEMS Gruppe, wobei der Unterschied zwischen den Gruppen die Signifikanzschwelle nicht erreichte.

Schlussfolgerungen: Das EMS-Training führt zu einer Erhöhung der Sauerstoffaufnahme und der Ejektionsfraktion bei CHF-Patienten. Die Annahme, dass eine Dosis-Wirkungs-Beziehung bestehen könnte (exEMS > limEMS), konnte statistisch nicht bewiesen werden.

Schlüsselwörter: körperliches Training, chronische Herzinsuffizienz, kardiale Rehabilitation, EMS-Training, Elektromyostimulation

Summary

Purpose: Electromyostimulation (EMS) of thigh and gluteal muscles has found to be a strategy to increase exercise capacity in patients with chronic heart failure (CHF). Aim of this study was to investigate the effects of different stimulation strategies in CHF patients using a newly developed stimulation suit that involves also trunk and arm muscles (extended electromyostimulation, exEMS) in comparison to EMS therapy limited to gluteal and leg muscles (limEMS).

Patients and methods: 24 stable CHF patients (NYHA class II–III) joined the EMS training program. They received either exEMS (12 patients, 10 males, mean age 62.2±12.6 years) or limEMS (12 patients, 9 males, 62.75±8.77 years). Training was performed for 10 weeks twice weekly for 20 minutes, the level of daily activity remained unchanged. Effects on exercise capacity, oxygen uptake, left ventricular function (LVEF) and biomarkers were evaluated.

Results: There was a significant increase of oxygen uptake at aerobic threshold in all groups: exEMS: 14.7±3.9 to 19.6±4.5 ml/kg/min (+32.65 %, p<0.001); limEMS: 13.6±3.0 to 16.0±3.8 ml/kg/min (+17.6 %, p=0.003). LVEF in the exEMS group increased from 38.42±7.6 to 45.21±8.6 % (+18.42 %, p=0.001), LVEF in the limEMS group from 37.1±3.0 to 39.5±5.3 % (+6.5 %, p=0.27). In CHF patients changes in oxygen consumption and LVEF were higher in the exEMS group than with limEMS (difference not significant).

Conclusion: EMS can improve the oxygen uptake and EF in CHF. There are hints for a dose-response relationship in CHF patients as exEMS showed higher effects than limEMS. This difference was not significant.

Keywords: physical performance, chronic heart failure, cardiac rehabilitation, extended electromyostimulation (exEMS), EMS training, limited EMS (limEMS)

ranz von CHF-Patienten bei. Hieraus ergibt sich ein Circulus vitiosus der CHF: eingeschränkte Ejektionsfraktion des Herzens (EF) – systemische Veränderungen in den Folgeorganen. So führt eine abnehmende EF zu einer Störung des muskulären Metabolismus mit konsekutiver Ermüdung des Organs und Abbau von Fasern. Dies resultiert in einer Abnahme des vaskulären Tonus sowie einer Reduktion der Kapillarisdichte mit konsekutivem Anstieg des systemischen Widerstands, was wiederum die linksventrikuläre Dysfunktion weiter verstärkt (Abb. 1) [3].

Die möglichst weitgehende Erhaltung von Muskulatur bei CHF-Patienten ist heute eine anerkannte Strategie, um auch die linksventrikuläre Funktion zu erhalten [4–7]. Folglich hat das physische Training eine wichtige Bedeutung bei der Durchbrechung dieses Circulus vitiosus: Es kommt zu einem Remodeling neurohumoraler, immunreaktiver und funktioneller Störungen des Systems, wobei die Effektivität des Trainings offenbar weitgehend altersunabhängig ist [8, 9].

Frühere Studien haben gezeigt, dass EMS-Training hinsichtlich einer Stei-

gerung der physischen Kapazität anderen Trainingsformen nicht nachsteht (Laufband, Fahrrad) [10–12]. Allerdings war die Elektromyostimulation in diesen Studien auf die Gesäß- und Oberschenkelmuskulatur beschränkt. Ziel der vorliegenden prospektiven Studie war es, aufbauend auf den Ergebnissen unserer ersten Pilotstudie [34] die Auswirkungen verschiedener Stimulationsstrategien auf die Belastbarkeit, die Sauerstoffaufnahme und die linksventrikuläre Funktion stabiler Patienten mit CHF zu untersuchen.

Patienten und Methodik

Patienten

Die hier vorgestellten Daten sind erste Ergebnisse einer noch andauernden prospektiven Studie an bislang 40 Patienten. Alle Patienten wurden in unserer CHF-Ambulanz rekrutiert worden und befanden sich stabil im NYHA-Stadium II–III.

12 Patienten (10 männlich, 2 weiblich; mittleres Alter 62,17±12,6 Jahre) erhielten ein exEMS-Training (extensiv

= Einbeziehung der Rumpf- und Oberarmmuskulatur), weitere 12 Patienten (9 männlich, mittleres Alter 62,75±8,77 Jahre) erhielten ein limEMS-Training (limitiert = nur Stimulation von Gesäß- und Beinmuskulatur).

Die Studie wurde von der Ethikkommission votiert (Nr. 27/2008, Universität Bochum). Alle Patienten willigten schriftlich in das Studienprotokoll ein.

Einschlusskriterien

Eingeschlossen wurden stabile CHF-Patienten (NYHA II–III) mit einer eingeschränkten linksventrikulären Ejektionsfraktion (EF = 25–45%). Die Patienten mussten bereit sein, sich zweimal wöchentlich für 20 Minuten einem körperlichen Training in Form der Ganzkörper-EMS zu unterziehen.

Alle Patienten erhielten zum Zeitpunkt des Studienbeginnes eine optimale medikamentöse Therapie, keiner der Patienten durfte während der Studiendauer supplementäre körperliche Aktivitäten starten.

Ausschlusskriterien

Myokardinfarkt innerhalb der letzten 3 Wochen, Myokarditis, höhergradige Rhythmusstörungen (Lown IV), kardiale Dekompensation innerhalb der letzten 3 Monate, NYHA-Klasse IV, EF<25 %, HOCM, Schwangerschaft, Niereninsuffizienz (Kreatinin >1,5 mg/dl), dermatologische Erkrankungen. Patienten mit AICD oder BVSM wurden ausgeschlossen, da es noch keine justiziablen Unbedenklichkeitserklärungen der Hersteller gegenüber einem EMS-Training gibt und Interaktionen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden können.

EMS-Therapie und Stimulationsprotokoll

Für die Therapie wählten wir das Stimulationssystem Miha-Bodytec (Miha-Bodytec GmbH, Augsburg, Germany). Das System besteht aus einer Stimulationseinheit und einer

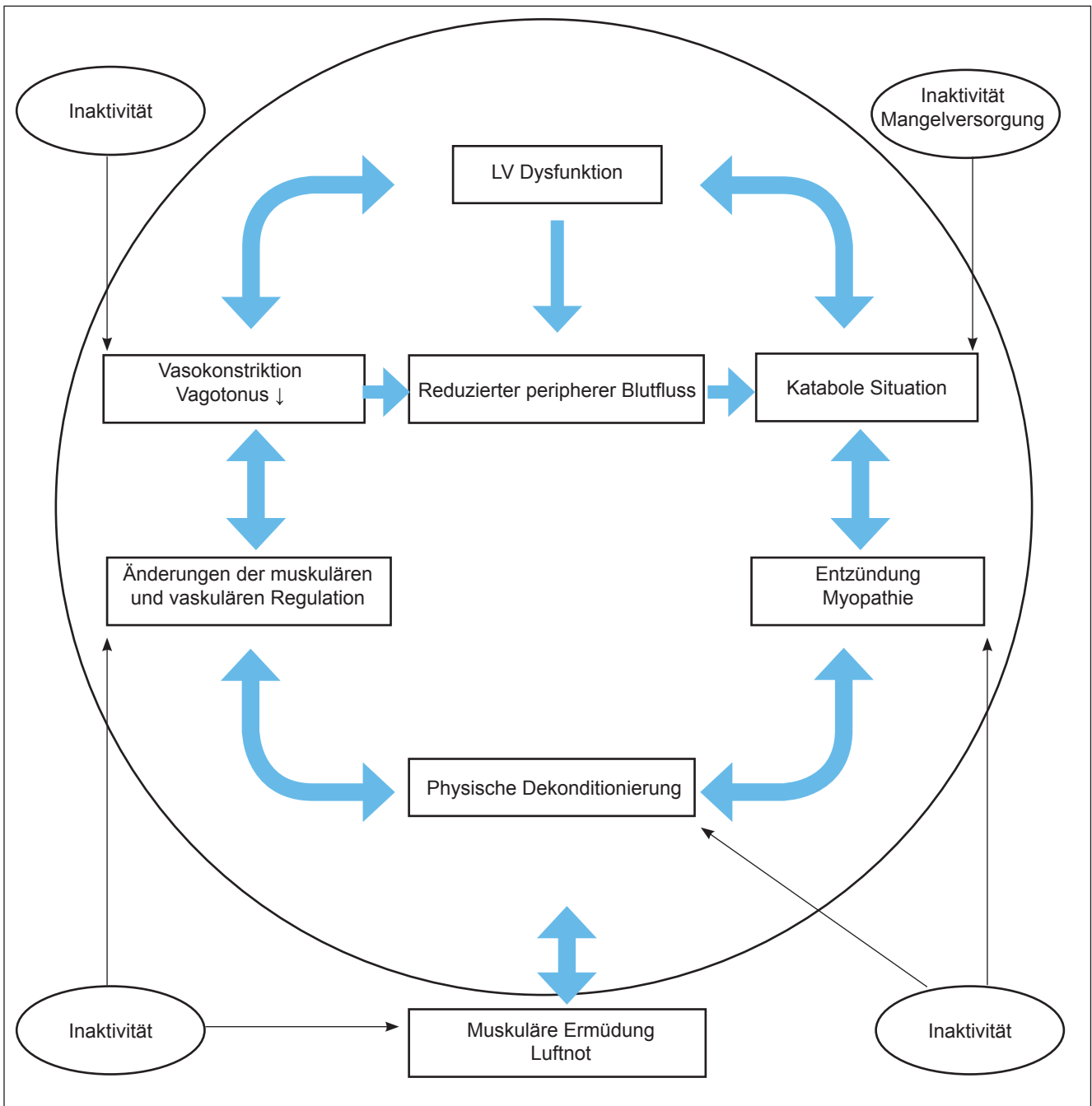


Abbildung 1: Auswirkungen der chronischen Herzinsuffizienz auf das Endorgan Muskulatur – ein Circulus vitiosus (nach [3])

Stimulationsweste. In die Weste sind Elektroden eingebracht, die synchron große Muskelareale erregen. Ferner gehören zum System separate Elektroden für die Oberarm-, die Oberschenkel- und die Gesäßmuskulatur. Bei den Patienten der exEMS-Gruppe wurden synchron folgende Muskelgruppen stimuliert: Arm, oberer Rücken, unterer Rücken, lateraler Thorax,

Brust, Bauch, Gesäß, Oberschenkel. Die Stimulation erfolgte zweimal wöchentlich für 20 Minuten, wobei pro Trainingszyklus 4 Sekunden Stimulation von 4 Sekunden Pause gefolgt waren. Die Frequenz betrug 80 Hz, die Impulsbreite 350 μ s. Die Amplitude wurde vom Patienten selbst geregelt, nachdem er aufgefordert wurde, eine möglichst suffiziente Kontraktur der

Muskulatur anzustreben, die unterhalb der Schmerzschwelle liegt. Herzfrequenz (Hf) und Blutdruck (RR) wurden am Beginn und am Ende jeder EMS-Trainingseinheit gemessen und daraus das Produkt RPP (rate pressure product), ein Marker für die myokardiale Sauerstoffaufnahme, errechnet.

Studienprotokoll

Alle Untersuchungen erfolgten unmittelbar vor Beginn und innerhalb einer Woche nach Beendigung der Trainingsphase.

Körpergröße, Gewicht und Körperfett wurden mittels Impedanzwaage gemessen (TANITA, body composition analyzer, TBF-410 MA, Japan). Hieraus wurden der Body-Mass-Index (BMI) sowie die Körperoberfläche (BSA) errechnet.

B-Typ Natriuretisches Peptid (BNB) und sein Metabolit (NT-proBNP) sind die am häufigsten verwandten Biomarker zur Beurteilung der CHF [13]. Beide Marker wurden zu Beginn und nach Beendigung der Trainingsphase in den Morgenstunden abgenommen. Jeder Patient erhielt ein 12-Kanal-EKG.

Eine transthorakale Echokardiographie wurde nach den ASA-Richtlinien mittels eines GE Vingmed Seven durchgeführt [14].

Der linksventrikuläre enddiastolische Index (LVEDDi) und der linksatriale endsystolische Diameter Index (LA-ESDi) wurden unter Zuhilfenahme der BSA errechnet. Ferner wurden mittels M-Mode die linksventrikuläre enddiastolische Wanddicke (PWED), die Septumdicke (IVS ED) sowie die Größen der Herzhöhlen bestimmt. Die linksventrikulären Funktionsparameter wurden nach den Simpson-Kriterien im Zwei- und Vierkammerblick bestimmt. Die Endokardgrenzen wurden offline durch zwei unabhängige geprüfte Echokardiographen bestimmt. Eine diastolische Funktionsstörung wurde durch eine E/A-Ratio <1 definiert. Die linksventrikuläre Masse wurde anhand der Penncube-Formel ermittelt ($LVM = 1.04 \times (LVEDD + PWED + IVSED)^3 - 13,6$) [15].

Alle Belastungsuntersuchungen wurden mittels Spiroergometrie durchgeführt (ZAN 600 USB CPX, h/p/cosmos quasar, Oberthulba, Germany). Jeder Teilnehmer führte den Test nach seinem Leistungsvermögen durch, entweder startete er bei 10 Watt mit einer Steigerung der Belastungsstufe um 10 Watt alle 2 Minuten oder er begann mit 25 Watt mit einer Steigerung um 25 Watt alle 2 Minuten. Die Ergometrie-protokolle zu Beginn und am Ende der

EMS-Trainingsphase waren intraindividuell identisch. Die Probanden wurden angehalten, ein Gasaustauschniveau von >1,0 zu erreichen. Die Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle (VO_2AT) und die maximale Sauerstoffaufnahme ($peakVO_2$) wurden anhand der V-Slope-Methode bestimmt. Als Abbruchkriterien galten Atemnot, muskuläre Erschöpfung, schwere Rhythmusstörungen, RR-Dysregulationen und Schwindel. Alle spiroergometrischen Untersuchungen wurden nach den Standards der European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation durchgeführt [16].

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS für Windows, V 18.0 (SPSS Inc., USA). Als Signifikanzschwelle wurde $p < 0,05$ angenommen. Die Datenverwaltung erfolgte anonymisiert in einem externen Institut für Statistik.

Ergebnisse

Biometrische Daten, Blutdruck und Herzfrequenz

Die Basisdaten aller Patienten sind in Tabelle 1 zusammen gefasst. Keiner der Patienten musste die Therapie aus medizinischen Gründen abbrechen. Keiner der Patienten hatte eine Pause >6 Tage zwischen 2 Trainingseinheiten, alle Patienten schlossen 20 Trainingseinheiten innerhalb von 10 Wochen ab.

In der exEMS-Gruppe waren 6 Patienten mit dilatativer Kardiomyopathie und 6 Patienten mit ischämischer Kardiomyopathie. In die limEMS-Gruppe wurden 4 Patienten mit dilatativer Kardiomyopathie und 8 Patienten mit ischämischer Kardiomyopathie eingeschlossen.

Unter den 12 Patienten der exEMS-Gruppe waren 11 unter Betablocker (limEMS 12), 4 unter AT_1 -Blocker (2) und 10 unter ACE-Hemmer-Therapie (9), 10 nahmen Diuretika (11), 2 Patienten erhielten Digoxin (1) und 3 Patien-

ten nahmen Kalziumkanalblocker (4). Der systolische Blutdruck zu Beginn des Trainingszyklus lag in der exEMS-Gruppe bei $128,7 \pm 16,78$ mmHg und nach der 10-wöchigen Trainingsphase bei $128,42 \pm 13,34$ mmHg, (limEMS: $131,94 \pm 13,79$ mmHg bzw. $133,10 \pm 10,33$ mmHg), der diastolische Blutdruck bei $72,26 \pm 7,89$ und $75,23 \pm 9,32$ mmHg (limEMS: $79,09 \pm 6,91$ mmHg und $80,77 \pm 3,57$ mmHg).

Die Herzfrequenz stieg von $75,91 \pm 10,95$ auf $84,96 \pm 13,24$ Schläge/min am Ende einer Trainingseinheit in der exEMS-Gruppe (limEMS: $70,80 \pm 5,51$ auf $79,16 \pm 7,63$ Schläge/min).

Gewicht und Körperfettverteilung änderten sich nicht signifikant.

Das RPP stieg um 9,4 % in der exEMS-Gruppe ($p = 0,024$) und um 12,5 % in der limEMS-Gruppe ($p = 0,091$) an.

Belastungstoleranz

Nach 10 Wochen exEMS-Training konnten wir einen signifikanten Anstieg der VO_2AT um 32,65 % von $14,7 \pm 3,4$ auf $19,57 \pm 4,5$ ml/kg/min ($p < 0,001$) beobachten. In der limEMS-Gruppe wurde ein Anstieg von 17,6 % (von $13,6 \pm 3,0$ auf $16,0 \pm 3,8$ ml/kg/min, $p = 0,003$) gemessen (Tab. 1).

Die $peakVO_2$ stieg von $18,12 \pm 3,56$ auf $23,20 \pm 3,56$ ml/kg/min (+22,73 %) in der exEMS-Gruppe ($p < 0,001$) und erhöhte sich in der limEMS-Gruppe um 10,7 %, $p = 0,024$; (Tab. 1, Abb. 2). Die Maximalleistung ($Watt_{max}$) verbesserte sich in der exEMS-Gruppe von $111,75 \pm 35,8$ auf $122,25 \pm 40,7$ (+6,5 %, $p = 0,200$), in der limEMS-Gruppe betrug der Anstieg 11,4 %, $p = 0,064$.

Die Leistung an der anaeroben Schwelle ($Watt_{AT}$) stieg in der exEMS-Gruppe von $87,5 \pm 27,7$ auf $100,5 \pm 39,7$ (+15,5 %; $p = 0,044$) und in der limEMS-Gruppe von $86,9 \pm 30,2$ auf $110,4 \pm 29,9$ (+27 %; $p = 0,002$).

Damit waren die EMS-Trainingseffekte bei den CHF-Patienten hinsichtlich VO_2AT und $peakVO_2$ in der exEMS-Gruppe höher als in der limEMS-Gruppe. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren nicht signifikant (VO_2AT ex/lim: $p = 0,073$, $peakVO_2$ ex/lim: $p = 0,564$).

	CHF (n=12) – extended EMS				CHF (n=12) – limited EMS			
	vor	nach	p-Wert	Veränderung [%]	vor	nach	p-Wert	Veränderung [%]
	Mittelwert ± SD	Mittelwert ± SD			Mittelwert ± SD	Mittelwert ± SD		
Watt AT [Watt]	87,5±27,7	100,5±39,7	0,044	+15,5	86,9±30,2	110,4±29,9	0,002	+27,0
Watt max [Watt]	111,75±35,8	122,5±40,7	0,200	+6,5	121,6±49	135,5±46,3	0,064	+11,4
VO ₂ AT [ml/kg KG/min]	14,7±3,42	19,6±4,5	<0,001	+32,65	13,6±3,0	16,0±3,8	0,003	+17,6
Peak VO ₂ [ml/kg KG/min]	18,1±3,56	23,2±3,56	<0,001	+22,73	19,6±4,3	21,7±5,3	0,024	+10,7
LV EDD [mm]	57,64±9,7	55,08±5,9	0,58	-4,4	59,2±4,7	59,3±3,8	0,878	+0,2
LV EDDi [mm/m ²]	28,9±6,32	27,63±5,07	0,239	-4,9	28,4±3,2	28,5±3,1	0,889	+0,3
LV IVS ED [mm]	10,25±2,05	10,58±1,8	1	0	11,5±1,9	10,50±1,0	0,46	-8,7
LV PW ED [mm]	10,8±1,64	10,42±1,5	0,435	-1,9	11,25±1,3	11,0±1,54	0,623	-1,8
LV mass index [g/m ²]	139,7±42,0	127,3±34,01	0,228	-8,4	153,59±23	143,0±18,86	0,176	-6,9
LV EF [%]	38,4±7,6	45,21±8,6	0,001	+18,42	37,1±3,0	39,5±5,3	0,27	+6,5
NT – pro BNP [pg/ml]	465,8±979,8	309,8±388,8	0,551	-33,5	501,0±480	443,1±484,1	0,308	-11,6
RPP [mmHg × bpm-1/1000]	9,42±2,04	10,88±2,30	0,024	+9,24	9,36±1,36	10,53±1,21	0,091	+12,5

VO₂ AT = Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle
 VO₂ max = Sauerstoffaufnahme unter maximaler Belastung
 LV EDD = linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser
 LV EDDi = linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser-Index
 LV IVS ED = linksventrikuläres Interventrikularseptum enddiastolisch
 LV PW ED = linksventrikuläre Wanddicke enddiastolisch
 LV EF = linksventrikuläre Ejektionsfraktion
 RPP = rate pressure product (Herzfrequenz in Ruhe × systolischer Blutdruck)

Tabelle 1: Spiroergometrische und echokardiographische Daten der Patienten mit CHF vor und nach extended EMS- bzw. limited EMS-Training

Echokardiographische Daten

Die Erhöhung der LVEF war in der exEMS-Gruppe hochsignifikant (von 38,42±7,6 auf 45,21±8,7; +18 %, p=0,001), während die EF in der limEMS-Gruppe um 6,5% (p=0,27) zunahm. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war signifikant (p=0,007).

LV EDD und diastolische Funktion veränderten sich in keiner der Gruppen signifikant: exEMS: 57,64±9,7 zu 55,08±5,9 mm; limEMS: 59,2±4,7 zu 59,3±3,8 mm. Die E/A-Ratio betrug 1,1±0,3 in der exEMS-Gruppe und 1,12±0,28 in der limEMS-Gruppe.

Biomarker

NT-proBNP wurde in beiden Gruppen nicht signifikant reduziert (exEMS: -33,5 %, lim EMS: -11,6 %) (Tab. 1). Das CRP sank von 0,57±0,95 auf 0,39±0,52 mg/dl in der exEMS-Gruppe und in der limEMS-Gruppe von 0,31±0,21 auf 0,37±0,43 (n.s.).

Diskussion

Körperliches Training ist heute neben der pharmakologischen und Resynchronisationstherapie komplementäre Standardtherapie der stabilen CHF (level of evidence IA) [17–19]. Allerdings

ist die zu empfehlende Trainingsart ein Diskussionsgegenstand [17].

Einige Studien zeigen, dass EMS-Training einen signifikanten positiven Effekt auf die Sauerstoffaufnahme bei Patienten mit CHF hatte. Barnerjee berichtete in einer kleinen Studie mit 10 Patienten über eine Erhöhung der peakVO₂ um 9 % in einer Kohorte von CHF-Patienten, wobei nur Gesäß- und Beinmuskulatur stimuliert wurden [20].

Bei gesunden Individuen ist die peak-VO₂ vor allem eine Funktion des Herzzeitvolumens. Aber auch respiratorische, skelettmuskuläre, metabolische, vaskuläre und hämatologische Faktoren haben einen relevanten Einfluss auf

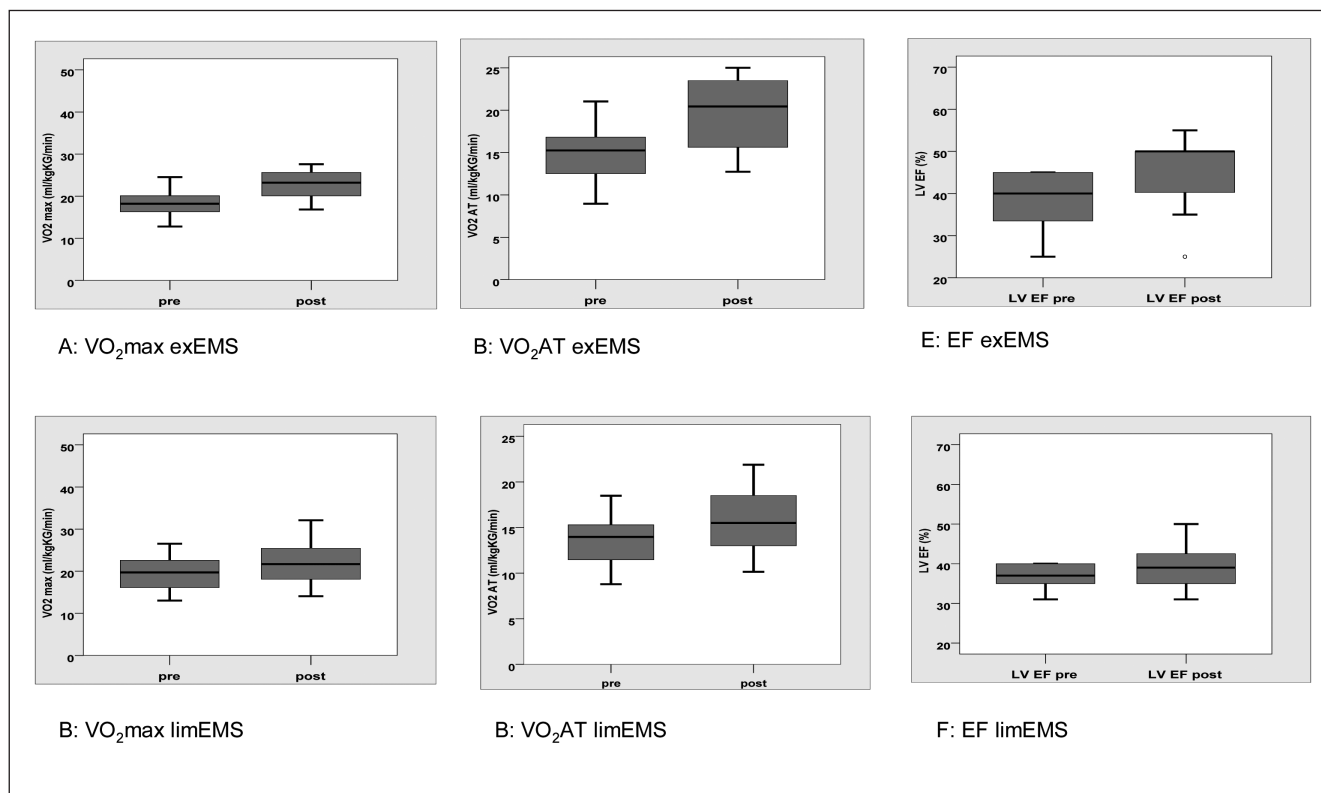


Abbildung 2: Auswirkungen des exEMS- sowie des limEMS-Trainings auf physische Belastbarkeit (VO₂max; VO₂ AT) sowie die linksventrikuläre Ejektionsfraktion

die körperliche Belastbarkeit [8, 21]. Es ist anerkannt, dass bei älteren stabilen CHF-Patienten mit erhaltener linksventrikulärer Funktion die verringerte peakVO₂ Folge einer reduzierten Herzleistung auf dem Boden eingeschränkter chronotroper, inotroper und vasodilatativer Reserven ist [22]. Andere Autoren diskutieren die Rolle eines eingeschränkten oxidativen Metabolismus der Muskulatur, der in einer reduzierten arteriovenösen Ausschöpfung resultiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass die arteriovenöse Ausschöpfung (errechnet nach der Fick'schen Gleichung) nach effizientem körperlichem Training wieder anstieg, während sie bei vergleichsweise trägen Individuen konstant blieb. Hier war die Erhöhung der arteriovenösen Ausschöpfung der Hauptgrund für die Verbesserung der peakVO₂, wobei vor allem periphere Mechanismen wie mikrovaskuläre und zelluläre Funktionen des Skelettmuskels die wichtigsten Gründe für die erhöhte körperliche Belastbarkeit dieser Patienten darstellten. Die Auswirkungen von körperlichem

Training auf die Sauerstoffaufnahme sind gut untersucht. Allerdings gibt es kaum Daten zu den Effekten des EMS-Trainings auf die linksventrikuläre Funktion und die körperliche Belastbarkeit von CHF-Patienten. Zahlreiche Studien beschreiben die Bedeutung dynamischer Trainingsformen bei der Behandlung der CHF [23–27]. Hambrecht et al. konnten eindrucksvoll zeigen, dass 20 Minuten Laufband pro Tag auf einem Niveau von 70 % der peakVO₂ zu einer Verkleinerung der Ventrikeldiameter, einer Verbesserung der körperlichen Belastbarkeit der Patienten und einer Erhöhung des linksventrikulären Schlagvolumens führten [24, 32]. Weitere Studien konnten nachweisen, dass die peakVO₂ streng mit der Prognose der CHF korreliert [28]. Die Ergebnisse unserer Studie unterstreichen die positiven Effekte eines EMS-Trainings bei CHF-Patienten. Der Umfang der Erhöhung von VO₂AT in beiden Gruppen (exEMS und limEMS) war deutlich. Bislang wurden derartige Steigerungen mit keiner

Sportart bei CHF-Patienten demonstriert. Das EMS-Training wurde gut toleriert, kein Patient hat die Studie abgebrochen. Alle Patienten dokumentierten in einer Befragung den hohen Zuegang zu einer Lebensqualität, ein stärkeres Spannungsgefühl des Körpers und eine deutlich gesteigerte Leistungsfähigkeit. Nebenbefundlich waren die bei 75 % der exEMS Patienten vorhandenen Rückenbeschwerden nach kurzer Trainingsphase eliminiert. Diese Effekte konnten auch in anderen Studien gezeigt werden [31]. Körpergewicht und Fettverteilung wurden in der kurzen Trainingsphase nicht signifikant verändert. Eine positive Veränderung erscheint aber nicht ausgeschlossen, sofern die Untersuchungsdauer verlängert wird.

BNP

BNP und vor allem sein Metabolit NT-proBNP sind anerkannte Marker einer CHF. Beide wurden im Lauf der

Trainingsphase gesenkt, die Reduktion erreichte aber nicht die Signifikanzschwelle. In anderen Untersuchungen konnte aber durchaus nachgewiesen werden, dass nach Beginn einer Sporttherapie die BNP-Spiegel bei CHF-Patienten signifikant abnahmen [29]. Andererseits muss bedacht werden, dass BNP-Spiegel bei vollständig kompensierten CHF-Patienten oft im Normbereich sind und hier eine signifikante Reduktion von vornherein nicht erwartet werden kann. Dies führt zu der Annahme, dass die Beobachtung der BNP-Spiegel in diesem Studiendesign von limitiertem Wert ist.

Belastungstoleranz

Wir konnten einen unerwartet hohen und signifikanten Anstieg der VO_2AT und der $peakVO_2$ nachweisen. Dabei war der Effekt in der exEMS-Gruppe deutlicher ausgeprägt als in der limEMS-Gruppe, wiewohl der Unterschied im Vergleich der Gruppen untereinander nicht signifikant war. Barnerjee berichtete über eine Erhöhung der Sauerstoffaufnahme von 10 % bei gesunden Personen mit einem recht trägen Lebensstil [30]. Dies wurde in unserer Gruppe mit limEMS-Training mit 17,6 % bereits übertroffen. Mit einer Steigerung von 32,65 % der VO_2AT in der exEMS-Gruppe werden hier erstmals Dimensionen des Anstieges der VO_2AT beschrieben, die in der Literatur noch mit keiner anderen Sportart dokumentiert wurden. Die Betrachtung der Steigerungsraten legt die Annahme einer Dosis-Wirkungs-Beziehung nach dem Prinzip „je mehr Muskulatur stimuliert wurde, desto intensiver ist der Anstieg der Sauerstoffaufnahme“ nahe. Allerdings erreicht der Unterschied des VO_2AT -Anstiegs zwischen exEMS und limEMS statistisch keine Signifikanz. Eine lokale Senkung bestimmter Entzündungsmarker wurde 2003 in einer Studie an 10 Patienten beschrieben, bei denen nach einem 6-monatigem Ergotertraining Biopsien des M. vastus lateralis durchgeführt wurden [25]. Während die Plasmaspiegel von TNF-alpha, Interleukin-1-beta und Interleukin 6 unverändert blieben, sanken sie

jedoch in den Muskelbiopsien. Dies könnte eine Erklärung dafür sein, dass der Abbauprozess der Skelettmuskulatur durch körperliches Training resp. EMS-Training bei Patienten mit CHF aufgehoben bzw. rückgängig gemacht werden kann [24].

Linksventrikuläre Funktion

Eines der bedeutendsten Ergebnisse der vorliegenden Studie ist die Erhöhung der linksventrikulären Funktion von 38,4 % auf 45,21 % in der exEMS-Gruppe. Ähnliche Effekte konnten bereits durch die Arbeitsgruppe Hamprecht und andere dargestellt werden [24, 26, 32]. Der Effekt kann vornehmlich durch die Senkung des peripheren Gefäßwiderstands erklärt werden.

In der limEMS-Gruppe konnte ebenfalls eine signifikante Erhöhung der LVEF nachgewiesen werden.

Die Bedeutung des Erhalts von Skelettmuskulatur hinsichtlich des Durchbrechens des Circulus vitiosus der CHF wurde eindrucksvoll durch frühere Arbeiten dargestellt (Abb. 1 [3]). Unsere Ergebnisse hinsichtlich des Anstieges der LVEF können somit durch einen verbesserten Muskelmetabolismus, eine Erhöhung der Kapillarisdichte, gefolgt von einer Absenkung des systemischen Widerstands, Absenkung sympathischer Stimulation und verminderter Vasokonstriktion erklärt werden.

Die kürzlich durch Gielen [9] beschriebene Senkung der Proteasen-Aktivität in Muskelbiopsien von CHF-Patienten nach Ausdauertraining wurde bislang nach EMS-Training noch nie beschrieben und sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Signifikante Änderungen der linksventrikulären Diameter konnten im Gegensatz zu Hamprechts Studien nicht nachgewiesen werden [24]. Unsere Daten sind vergleichbar mit den Ergebnissen von Haykowsky et al., die nach 4 Monaten Ausdauertraining eine signifikante Erhöhung der $peakVO_2$, nicht aber eine Abnahme der linksventrikulären Volumina nachweisen konnten [22].

Die Bedeutung von EMS-Training

bei CHF-Patienten scheint sehr vielversprechend. Gerade höhergradig erkrankte, immobile Patienten profitieren überproportional von der Aktivierung der Skelettmuskulatur sowie deren Auswirkungen auf den Prozess der chronischen Herzinsuffizienz. Bereits im kurzfristigen Zeitfenster konnten positive Effekte auf die Mikrozirkulation nachgewiesen werden [35]. Allerdings fehlen bislang Untersuchungen, in welcher Art und in welchem Umfang sich strukturelle und immunologische Remodeling-Prozesse der Muskulatur und des Herzens in Abhängigkeit von der Zeit und der EMS-Trainingsintensität darstellen.

Der unveränderte LVEDD und die erhöhte EF in der vorliegenden Studie weisen darauf hin, dass die morphologische Adaptation des Herzens sich offenbar erst nach einer längeren Periode eines verbesserten funktionellen Status einstellt. Diese Vermutung wird durch Ergebnisse aus der Leipziger Arbeitsgruppe unterstrichen, wonach die Verkleinerung des LVEDV und der LV-Masse zeitlich deutlich nach der zellulären und molekularen Erholung des Skelett- und des Herzmuskels auftraten [32]. Bislang gibt es keine Erkenntnisse darüber, welche konkreten zeitlichen Perioden für diese Prozesse benötigt werden.

In unserer Studie blieb die linksventrikuläre Wanddicke unverändert. Die E/A-Ratio zeigte weiterhin Zeichen einer diastolischen Funktionsstörung in beiden Gruppen.

Vor dem Hintergrund der positiven Ergebnisse eines exEMS - bzw. des limEMS-Trainings hinsichtlich funktioneller Parameter bei CHF-Patienten erscheint es angezeigt, mögliche Interaktionen des EMS-Trainings mit derzeit aktuellen Implantaten zur Resynchronisation bzw. Defibrillation zu untersuchen.

Schlussfolgerungen

EMS stellt ein effektives Trainingskonzept für Patienten mit CHF dar. Es konnten signifikante Erhöhungen der Sauerstoffaufnahme und der linksventrikulären Ejektionsfraktion nach-

gewiesen werden. Die Auswirkungen scheinen bei Patienten, die mit exEMS trainierten, höher zu sein als bei Patienten, die nur einem limEMS-Training unterzogen wurden. Die Unterschiede erreichten jedoch statistisch keine Signifikanz.

Vor diesem Hintergrund betrachten wir EMS als sinnvoll und hilfreich, um CHF-Patienten vor einer Progression muskulärer Atrophie zu bewahren und somit den Circulus vitiosus der chronischen Herzinsuffizienz zu durchbrechen.

Sollten die demonstrierten Effekte auf die Verbesserung der Herzfunktion in Langzeitbeobachtungen bestätigt werden können, so könnte EMS-Training zukünftig dazu beitragen, ICD- oder BVSM-Implantationen bei Patienten mit eingeschränkter EF zu verhindern.

Limitationen der Studie

Aus methodischen Gründen schlossen wir alle Patienten mit einem implantierten Aggregat aus. Dies geschah vor dem Hintergrund eventueller Interferenzen des EMS-Trainings mit dem Aggregat. Da viele der CHF-Patienten mit besonders stark reduzierter EF heute einen ICD oder ein BVSM-Implantat tragen, erscheint unsere Patientenselektion noch „relativ gesund“ und Trainingsbeobachtungen an höchstgradig eingeschränkten Patienten konnten nicht durchgeführt werden.

Ferner wurden in dieser Studie keine Muskelbiopsien durchgeführt. Die biopsische Analyse histologischer und enzymologischer Änderungen der Skelettmuskulatur ist aber von hohem Interesse, um zukünftig strukturelle Änderungen, immunologische und entzündliche Prozesse besser verstehen zu können. □

Literatur

- 1 Banerjee P, Caulfield B, Crowe L, Clark A. Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength and aerobic capacity in healthy sedentary adults. *J Appl Physiol* 2005;99:2307-2311
- 2 Gerovasili V, Stefanidis K, Vitzilaios K, Karatzanos E, Politis P, Koroneos A, Chatzimichail A, Routsis C, Roussos C, Nanas S. Electrical muscle stimulation preserves the muscle mass of critically ill patients: a randomized study. *Crit Care* 2009;13:161
- 3 Piepoli MF, Corrà U, Agostoni PG, Belardinelli R, Cohen-Solal A, Hambrecht R, Vanhees L. Task Force of the Italian Working Group on Cardiac Rehabilitation and Prevention (Gruppo Italiano di Cardiologia Riabilitativa e Prevenzione, GICR); Working Group on Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology of the European Society of Cardiology. Statement on cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure due to left ventricular dysfunction: recommendations for performance and interpretation Part II: How to perform cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2006;13:300-311
- 4 Piepoli MF, Corrà U, Agostoni PG, Belardinelli R, Cohen-Solal A, Hambrecht R, Vanhees L. Task Force of the Italian Working Group on Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology of the European Society of Cardiology. Statement on cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure due to left ventricular dysfunction: recommendations for performance and interpretation. Part I: definition of cardiopulmonary exercise testing parameters for appropriate use in chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2006;13:150-164
- 5 Piepoli MF, Conraads V, Corrà U, Dickstein K, Francis DP, Jaarsma T, McMurray J, Pieske B, Piotrowicz E, Schmid JP, Anker SD, Solal AC, Filippatos GS, Hoes AW, Gielen S, Giannuzzi P, Ponikowski PP. Exercise training in heart failure: from theory to practice. A consensus document of the Heart Failure Association and the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Heart Fail* 2011;13:347-357
- 6 Piepoli MF, Davos C, Francis DP, Coats AJ. ExTraMATCH Collaborative. Exercise training meta-analysis of trials in patients with chronic heart failure (ExTraMATCH). *Br Med J* 2004;328:189
- 7 Piepoli MF, Flather M, Coats AJ. Overview of studies of exercise training in chronic heart failure: the need for a prospective randomized multicentre European trial. *Eur Heart J* 1998;19:830-841
- 8 Dobsák P, Nováková M, Siegelová J, Fiser B, Vitovec J, Nagasaka M, Kohzuki M, Yambe T, Nitta S, Eicher JC, Wolf JE, Imachi K. Low-frequency electrical stimulation increases muscle strength and improves blood supply in patients with chronic heart failure. *Circ J* 2006;70:75-82
- 9 Gielen S, Sandri M, Kozarek I, Kratzsch J, Teupser D, Thiery J, Erbs S, Mangner N, Lenk K, Hambrecht R, Schuler G, Adams V. Exercise training attenuates MuRF-1 Expression in the Skeletal Muscle of Patients With Chronic Heart Failure Independent of age: the Randomized Leipzig Exercise Intervention in Chronic Heart Failure and Aging Catabolism Study. *Circulation*. 2012;125:2716-2727
- 10 Deley G, Kervio G, Verges B, Hannequin A, Petitand MF, Salmi-Belmihoub S, Grassi B, Casillas JM. Comparison of low-frequency electrical myostimulation and conventional aerobic exercise training in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2005;12:226-233
- 11 Dobsák P, Nováková M, Fiser B, Siegelová J, Balcárková P, Spinarová L, Vitovec J, Minami N, Nagasaka M, Kohzuki M, Yambe T, Imachi K, Nitta S, Eicher JC, Wolf JE. Electrical stimulation of skeletal muscles. An alternative to aerobic exercise training in patients with chronic heart failure? *Int Heart J* 2006;47:441-453
- 12 Sbruzzi G, Ribeiro RA, Schaan BD, Signori LU, Silva AM, Irigoyen MC, Plentz RD. Functional electrical stimulation in the treatment of patients with chronic heart failure: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2010;17:254-260
- 13 Berliner D, Angermann CE, Ertl G, Stoerk S. Biomarkers in heart failure – better than history or echocardiography? *Herz* 2009;34:581-588
- 14 Cheitlin, MD, Armstrong, WF, Aurigemma, GP, Beller, GA, Bierman, FZ, Davis, JL, Douglas, PS, Faxon, DP, Gillam, LD, Kimball, TR, Kussmaul, WG, Pearlman, AS, Philbrick, JT, Rakowski, H, Thys, DM, Antman, EM, Smith, SC, Alpert, JS, Gregoratos, G, Anderson, JL, Hiratzka, LF, Hunt, SA, Fuster, V, Jacobs, AK, Gibbons, RJ, Russell, RO; American College of Cardiology; American Heart Association; American Society of Echocardiography. ACC/AHA/ASE 2003 guideline update for the clinical application of echocardiography: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASE Committee to Update the 1997 Guidelines for the Clinical Application of Echocardiography). *Circulation* 2003;108:1146-1162
- 15 Abernethy, WB, Choo, JK, and Hutter, AM. Echocardiographic characteristics of professional football players. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:280-284
- 16 Mezzani A, Agostoni P, Cohen-Solal A, Corrà U, Jegier A, Kouidi E, Mazic S, Meurin P, Piepoli M, Simon A, Laethem CV, Vanhees L. Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2009;16:249-267
- 17 Dickstein K, Cohen-Solal A, Filippatos G, McMurray JJ, Ponikowski P, Poole-Wilson PA, Strömberg A, van Veldhuisen DJ, Atar D, Hoes AW, Keren A, Mebazaa A, Nieminen M, Puri SG, Swedberg K; ESC Committee for Practice Guidelines, Vahanian A, Camm J, De Caterina R, Dean V, Dickstein K, Filippatos G, Funck-Brentano C, Hellemans I, Kristensen SD, McGregor K, Sechtem U, Silber S, Tende-

- ra M, Widimsky P, Zamorano JL. ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008. Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2008 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association of the ESC (HFA) and endorsed by the European Society of Intensive Care Medicine (ESICM). Task Force for Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2008 of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2008;29:2388-2442
- 18 Karavidas A, Arapi SM, Pyrgakis V, Adamopoulos S. Functional electrical stimulation of lower limbs in patients with chronic heart failure. *Heart Fail Rev* 2010;15:563-579
- 19 Hunt SA, Abraham WT, Chin MH, Feldman AM, Francis GS, Ganiats TG, Jessup M, Konstam MA, Mancini DM, Michl K, Oates JA, Rahko PS, Silver MA, Stevenson LW, Yancy CW; American College of Cardiology Foundation; American Heart Association. Focused update incorporated into the ACC/AHA 2005 guidelines for the diagnosis and management of heart failure in adults. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines Developed in Collaboration With the International Society for Heart and Lung Transplantation. *J Am Coll Cardiol* 2009;53:e1-e90
- 20 Banerjee P, Caulfield B, Crowe L, Clark AL. Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength, peak VO₂, and exercise capacity in patients with stable chronic heart failure. *J Card Fail* 2009;15:319-326
- 21 Lund LH, Mancini DM. Peak VO₂ in elderly patients with heart failure. *Int J Cardiol* 2008;125:166-171
- 22 Haykowsky MJ, Brubaker PH, Stewart KP, Morgan TM, Eggebeen J, Kitzman DW. Effect of endurance training on the determinants of peak exercise oxygen consumption in elderly patients with stable compensated heart failure and preserved ejection fraction. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:120-128
- 23 Piña IL, Apstein CS, Balady GJ, Belardinelli R, Chaitman BR, Duscha BD, Fletcher BJ, Fleg JL, Myers JN, Sullivan MJ; American Heart Association Committee on exercise, rehabilitation, and prevention. Exercise and heart failure: a statement from the American Heart Association Committee on exercise, rehabilitation, and prevention. *Circulation* 2003;107:1210-1225
- 24 Hambrecht R, Gielen S, Linke A, Fiehn E, Yu J, Walther C, Schoene N, Schuler G. Effects of exercise training on left ventricular function and peripheral resistance in patients with chronic heart failure: a randomized trial. *J Am Med Ass* 2000;283:3095-3101
- 25 Gielen S, Adams V, Möbius-Winkler S, Linke A, Erbs S, Yu J, Kempf W, Schubert A, Schuler G, Hambrecht R. Anti-inflammatory effects of exercise training in the skeletal muscle of patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:861-868
- 26 Erbs S, Höllriegel R, Linke A, Beck EB, Adams V, Gielen S, Möbius-Winkler S, Sandri M, Kränkel N, Hambrecht R, Schuler G. Exercise training in patients with advanced chronic heart failure (NYHA IIIb) promotes restoration of peripheral vasomotor function, Induction of Endogenous Regeneration, and Improvement of Left-Ventricular Function. *Circ Heart Fail* 2010;3:486-494
- 27 O'Connor CM, Whellan DJ, Lee KL, Keteyian SJ, Cooper LS, Ellis SJ, Leifer ES, Kraus WE, Kitzman DW, Blumenthal JA, Rendall DS, Miller NH, Fleg JL, Schulman KA, McKelvie RS, Zannad F, Piña IL; HF-ACTION Investigators. Efficacy and safety of exercise training in patients with chronic heart failure: HF-ACTION randomized controlled trial. *J Am Med Ass* 2009;301:1439-1450
- 28 Cheatham C, Green D, Collis J, Dembo L, O'Driscoll G. Effect of aerobic and resistance exercise on central hemodynamic responses in severe chronic heart failure. *J Appl Physiol* 2002;93:175-180
- 29 Karavidas A, Parissis JT, Matzaraki V, Arapi S, Varounis C, Ikonomidis I, Grillias P, Paraskevaidis I, Pirgakis V, Filippatos G, Kremastinos DT. Functional electrical stimulation is more effective in severe symptomatic heart failure patients and improves their adherence to rehabilitation programs. *J Card Fail* 2010;16:244-249
- 30 Banerjee P. Electrical muscle stimulation for chronic heart failure: an alternative tool for exercise training? *Curr Heart Fail Rep* 2010;7:52-58
- 31 Karavidas A, Parissis J, Arapi S, Farmakis D, Korres D, Nikolaou M, Fotiadis J, Potamitis N, Driva X, Paraskevaidis I, Matsakas E, Filippatos G, Kremastinos DT. Effects of functional electrical stimulation on quality of life and emotional stress in patients with chronic heart failure secondary to ischaemic or idiopathic dilated cardiomyopathy: a randomised, placebo-controlled trial. *Eur J Heart Fail* 2008;10:709-713
- 32 Erbs S, Linke A, Gielen S, Fiehn E, Walther C, Yu J, Adams V, Schuler G, Hambrecht R. Exercise training in patients with severe chronic heart failure: impact on left ventricular performance and cardiac size. A retrospective analysis of the Leipzig Heart Failure Training Trial. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2003;10:336-344
- 33 Mann DL, Bogaev R, Buckberg GD. Cardiac remodelling and myocardial recovery: lost in translation? *Eur J Heart Fail* 2010;12:789-796
- 34 Fritzsche D, Freund A, Schenk S, Mellwig KP, Kleinöder H, Gummert J, Horstkotte D. Elektromyostimulation (EMS) bei kardiologischen Patienten. Wird das EMS-Training bedeutsam für die Sekundärprävention? *Herz* 2010;35:34-40
- 35 Gerovasili V, Tripodaki E, Karartzanos E, Pitsolis T, Markaki V, Zervakis D, Routsis C, Roussos C, Nanas S. Short-term systemic effect of electrical muscle stimulation in critically ill patients. *Chest* 2009;136:1249-1256

Für die Verfasser:

Dr. Frank van Buuren
Herz und Diabetes Zentrum NRW
Klinik für Kardiologie, Ruhr Universität Bochum
Georgstraße 11
32545 Bad Oeynhausen
E-Mail: fvbuuren@hdz-nrw.de