



# Neue Horizonte der Bewegungstherapie in der kardiologischen Rehabilitation – High intensity interval training (HIIT)

R. Nebel<sup>1</sup>, B. Bjarnason-Wehrens<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ambulante kardiologische Rehabilitation, medicos.Osnabrück,

<sup>2</sup> Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Deutsche Sporthochschule Köln

## Einführung

Primäres Ziel individuell angepasster Trainingsinterventionen im Rahmen der kardiologischen Rehabilitation (CR) ist es, Verlauf und Prognose der Erkrankung günstig zu beeinflussen. Die Ergebnisse großer Metaanalysen zeigen, dass dies auch möglich ist [12, 17].

Sekundäre Ziele sind die Verbesserung körperlicher Leistungsfähigkeit und der Belastungstoleranz durch Verbesserung der kardiorespiratorischen, muskulären und der metabolischen Fitness, die Verminderung alters- oder krankheitsbedingter Abbauprozesse und damit zusammengefasst eine Erhöhung der Lebensqualität und Unabhängigkeit des Patienten im Alltag [44, 55].

Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ peak) gilt als ein unabhängiger Risikomarker für Morbidität und Mortalität bei Patienten mit Herz-Kreislaufkrankungen (CVD) einschließlich einer chronischen Herzinsuffizienz (CHF). Dies gilt auch für zahlreiche weitere kardiovaskuläre und/oder metabolische Erkrankungen (u. a. Diabetes mellitus Typ 2 (DM2), Adipositas, arterielle Hypertonie und das sogenannte metabolische Syndrom) [18, 19, 28, 38, 43, 54].

Kavanagh et al. konnten in einer Langzeitbeobachtung von KHK-Patienten zeigen, dass eine um 1,0 ml/kg/min höhere  $VO_2$ peak mit ei-

ner Abnahme der kardialen Mortalität um 8–10 % assoziiert ist [18, 19]. Die Ergebnisse einer erst kürzlich publizierten, größeren Kohortenstudie bestätigen die prognostische Bedeutung der kardiorespiratorischen Fitness (CRF) bei KHK-Patienten. Sie zeigte, dass eine während einer zwölfwöchigen CR erzielte Verbesserung der Leistungsfähigkeit um jeweils ein metabolisches Äquivalent (MET) im Mittel mit einer Senkung der Gesamtmortalität um 13 % assoziiert ist. Bei Patienten mit initial niedriger körperlicher Leistungsfähigkeit war eine Erhöhung der CRF um 1 MET mit einer Senkung der Gesamtmortalität sogar um 30 % assoziiert [27].

Vor dem Hintergrund, dass CVD mit 47 % aller Todesfälle die Haupttodesursache in Europa sind, erscheint die Frage essentiell, wie diese reduziert werden kann, zumal die Gesamtkosten für die CVD in der EU bei etwa 195 Mrd. Euro jährlich liegen [41]. Neben einer effektiven medikamentösen und operativ-interventionellen Therapie stehen deshalb u. a. Trainingsmethoden zur Steigerung der  $VO_2$ peak verstärkt im wissenschaftlichen und rehabilitativ-anwendungsbezogenem Fokus [7, 10, 16, 40, 49].

Während die Effekte eines moderaten aeroben Ausdauertrainings nach der Dauermethode (MCT, „moderate-intensity-continuous-training“) als gesichert gelten und diese Trainingsform in allen

nationalen und internationalen Leitlinien empfohlen wird, stehen jetzt andere Trainingsmodalitäten im Fokus der Forschung [1].

Bekannt ist seit längerem, dass höhere Trainingsintensitäten zu größeren Effekten führen und hierdurch auch mit geringerem Trainingsumfang und Zeitaufwand die Mortalität reduziert werden kann [23, 24, 48, 52].

Ergebnisse einer aktuellen Meta-Analyse zeigen, dass unabhängig von Alter und Geschlecht eine signifikante inverse Dosisabhängigkeit zwischen der Bewegungsintensität und der Gesamtsterblichkeit besteht [24]. In der Copenhagen Heart Study konnte eindrucksvoll gezeigt werden, dass bei 5106 Gesunden die relative Intensität, nicht aber die Dauer der Belastung mit einer Senkung sowohl der Gesamt- wie auch der KHK-Mortalität verbunden war [48]. Bei älteren Menschen ist eine höhere Trainingsintensität mit einem größeren positiven Effekt auf die KHK-Inzidenz assoziiert [23].

Es stellt sich daher die Frage, ob die Vorteile einer höheren Trainingsintensität – ohne höhere Gefährdung – bei kardiologischen Patienten ebenfalls bestehen. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass hohe Trainingsintensitäten auch von Patienten mit hohem kardiovaskulären Risiko bzw. manifesten Herz-Kreislaufkrankungen gut toleriert werden. Sie gehen zudem



nicht mit einem erhöhten Risiko für den individuellen Patienten einher [10, 16, 40, 46, 49, 58]. In einer großen multizentrischen Kohorten-Studie konnte bei KHK-Patienten belegt werden, dass sowohl Intervalltraining (einschließlich HIIT) als auch MCT im modernen CR-Setting mit einem geringen Risiko für relevante Zwischenfälle verbunden sind [46].

Im aktuellen Fokus der sportwissenschaftlichen und sportmedizinischen Forschung steht derzeit insbesondere das HIIT. Ein Intervalltraining ist gekennzeichnet durch einen Wechsel von Belastungs- und Erholungsphasen. Diese Form des Trainings ermöglicht, dass in den Belastungsphasen wiederholt über einen gewissen Zeitraum eine hohe Intensität mit einem sehr hohen Anteil der  $VO_2$ peak (90 % oder mehr) aufrechterhalten werden kann [8, 56]. Zahlreiche meist kleinere Untersuchungen an gesunden Patienten mit erhöhtem kardiovaskulären Risiko und/oder Herz-Kreislauf-erkrankungen haben die Effektivität von HIIT zur Steigerung der  $VO_2$ peak und positiven Beeinflussung anderer gesundheitsrelevanter Faktoren nachgewiesen.

Im Fokus dieser Arbeit steht die Bedeutung dieser Trainingsform für die CR, insbesondere für die Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der  $VO_2$ peak.

### Geschichte und Entwicklung des Intervall-Trainings

Die Anfänge von Intervalltraining („repetition training“ oder „intermittent exercise“) im Bereich der Trainingswissenschaften liegen in den ersten Jahrzehnten des zwanzigsten Jahrhunderts. Für seine Forschung auf diesem Gebiet erhielt der britische Physiologe Hill 1924 den Nobelpreis [13, 14]. In Skandinavien fand zur gleichen Zeit das so-

genannte „fartlek“ (schwedisch für „Fahrtenspiel“) durch Holmer seinen Einzug in das Training von Ausdauerathleten. In Deutschland führte in den späten 1930er Jahren Gerschler, beeinflusst durch den Physiologen Reindell, das Intervalltraining als Trainingsform ein.

Das Training des tschechischen dreifachen Olympiasiegers Emil Zatopek (Gold 1952 über 5000 Meter, 10 000 Meter und die Marathon-Distanz) beruhte auf einem (extremen) Training nach der Intervallmethode. Erst Jahre später etablierte sich die Dauer- und die umfangsorientierte, kontinuierliche Ausdauer- („high-volume-training“, HVT) im Bereich des Hochleistungstrainings.

In den 1960er bis 1980er Jahren untersuchten insbesondere Wissenschaftler aus Skandinavien und den angloamerikanischen Ländern die Effektivität verschiedener Formen des Intervalltrainings unter Berücksichtigung unterschiedlich langer Belastungs- und Ruhephasen. Die Ergebnisse dieser Forschung wurden seit Beginn des 21. Jahrhunderts erneut aufgegriffen und unter Einbezug metabolischer und insbesondere genetischer Effekte weiter untersucht. HIIT ist somit keine neue Trainingsform. Saltin et al. beschrieben bereits 1976 zwei verschiedene Intervalltrainings-Protokolle, die heute modellhaft für die weitere Entwicklung stehen dürften [47]. Heutzutage wird in der Sportwissenschaft zwischen langen, mittellangen, kurzen sowie Sprintintervallen unterschieden.

Die Arbeitsgruppe um Sonou wies 2008 nach, dass eine 20-minütige HIIT-Einheit im Tierversuch eine ähnliche intramuskuläre Glykogen-Verarmung wie eine 4-stündige MCT-Einheit erzeugte, die anschließende Glykogen-Superkompensa-

tion verlief identisch [50]. Ebenfalls im Tierversuch wiesen Kemi et al. zeitgleich nach, dass intensitätsabhängig im Kardiomyozyten durch eine Erhöhung der SERCA2a-Expression bei Chronischer Herzinsuffizienz (CHF) sowohl Inotropie als auch linksventrikuläre Pumpfunktion sich verbesserten [20, 51].

Das Intervalltraining erlebt derzeit im Leistungssport und hier insbesondere beim Fußball als HIIT eine Renaissance. Aktuell liegen eine Vielzahl von Studien zu den verschiedenen Formen des Intervalltrainings im Freizeit- und Leistungssport vor [56]. In der sogenannten Laienpresse und Fitness-Industrie werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen durchaus „forsch“ und oft durch nicht gerechtfertigte Alleinstellungsmerkmale interpretiert.

Im Bereich der Prävention, Sekundärprävention und Rehabilitation nicht nur von Herz-Kreislauf-erkrankungen, sondern insbesondere auch von Stoffwechsel- und Atemwegserkrankungen findet diese Trainingsform, begleitet durch intensive Forschung, zunehmende Evidenz und Datenlage zur Sicherheit, Effektivität, wachsendes Interesse und Anerkennung [56].

HIIT stellt dabei keine Alternative zum klassischen Ausdauertraining dar, sondern könnte eine effektive und dauerhaft mögliche Erweiterung bzw. Ergänzung dieses Trainings sowohl bei Gesunden wie auch Patienten bzw. Rehabilitanden bedeuten. Derzeit liegen jedoch keine Ergebnisse prospektiver (Langzeit-)studien, die die Nachhaltigkeit und die Langzeiteffekte eines HIIT weder für den Leistungs- und Freizeitsport noch für die Sekundär- bzw. Tertiärprävention (KHK bzw. CHF) und Rehabilitation von kardiovaskulären Erkrankungen belegen, vor.

Intervall – Trainingsformen	
AIT	aerobic interval training
HIT	high-intensity (aerobic) training
HIT	high-intensity interval training
HAIT	high-intensity aerobic interval training
SIT	sprint oder short (term) interval training
Umfangsorientierte Trainingsformen	
HVT	high-volume (low intensity) training
MCT / CONT / CT	(moderate) continuous training
ET / END	endurance training
MICE	moderate-intensity continuous exercise

Tab. 1: Übersicht der gegenwärtig noch nicht einheitlich verwandten Bezeichnungen und ihre Abkürzungen für Intervall- und umfangsorientierte Trainingsformen.

Signifikante Veränderung nach HIIT im Vergleich zu MCT	
VO <sub>2peak</sub>	▲
systolischer und diastolischer Blutdruck	▼
HDL-Cholesterin	▼
Triglyzeride und Nüchtern Blutzucker	▼
Oxidativer Stress und Entzündung	▼
FATP-1 und FAS	▼
Adiponectin, Insulinsensitivität, β-Zellen Funktion	▲
PGC-1α	▲
Maximale Ca <sup>2+</sup> resorptionsrate	▲
Nitrid Oxide Verfügbarkeit	▲
Kardiale Funktion	▲
Lebensqualität	▲

Tab. 2: Signifikante Veränderung nach HIIT im Vergleich zu MCT. HIIT (high-intensity-interval-training) im Vergleich zu MCT (moderate-intensity-continuous-training), (FATP-1 = Fatty acid transport protein; FAS Fatty acid synthase) [nach 58].

Die ► Tabelle 1 zeigt zum besseren Verständnis eine Übersicht der gegenwärtig noch nicht einheitlich verwandten Bezeichnungen und ihre Abkürzungen für Intervall- und umfangsorientierte Trainingsformen.

### Intervalltraining in der kardiologischen Rehabilitation

Die Arbeitsgruppe um Meyer et al. führte in den 1990er Jahren erste Untersuchungen mit Intervalltrainingsformen bei KHK- und insbesondere CHF-Patienten durch. Das hier angewandte Belastungsprotokoll sah einen Wechsel von kurzen Belastungsphasen (30 Sek) mit sehr

hoher Intensität mit doppelt so langen Erholungsphasen (60 Sek) mit geringer Belastung vor [29, 30, 31, 32]. Diese Trainingsform zeigte sich als effektiv zur Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit und wurde von den Zielgruppen gut toleriert.

Im Rahmen der CR in Deutschland findet derzeit fast ausschließlich diese Form des Intervalltrainings, insbesondere bei schwach belastbaren und/oder älteren Patienten, Anwendung. Das Training wird von den Patienten gut toleriert und gerne angenommen.

Derzeit steht jedoch eine andere Form des Intervalltrainings im Fokus der Wissenschaft und wird überwiegend durch Arbeitsgruppen in Norwegen, Dänemark, Belgien, Australien und Kanada erforscht [7, 9, 10, 11, 16, 33, 40, 45, 49, 57, 59]. In den meisten neueren Studien wurde für HIIT das 4x4 Minuten Protokoll nach Wisløff et al. angewandt. Dieses Protokoll beinhaltet nach einer Aufwärmphase (65 % der HFmax) vier Belastungsphasen von jeweils vier Minuten mit einer Belastung von 90–95 % HFmax. Die jeweils 3-minütigen Erholungsphasen werden mit einer Belastung von 65 % HFmax durchgeführt [59].

Die Effektivität dieses Protokolls wurde in den letzten Jahren in mehreren Studien mit herzkranken, insbesondere KHK- und CHF-Patienten überprüft. Zudem haben zahlreiche Untersuchungen dessen Wirksamkeit beim metabolischen Syndrom und anderen kardiovaskulären Risikofaktoren überprüft [4, 9, 26, 53, 58]. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen einen Vorteil des HIIT für die Erhöhung der VO<sub>2peak</sub> in diesen Patientengruppen. Zudem wurde in vielen Studien das Risikofaktorenprofil – z. T. auch im Vergleich zum MCT – signifikant verbessert. Es wurden positive Effekte auf anthropometrische Daten, Blutdruck, LDL- und HDL-Cholesterin und eine Abnahme der Prävalenz des metabolischen Syndroms festgestellt [7, 45, 46, 49]. Zudem wurde eine Verbesserung der Endothelfunktion in den untersuchten Kollektiven festgestellt [4, 9, 21, 26]. Die ► Tabelle 2 zeigt die potenziellen Vorteile von HIIT im Vergleich zum MCT.

### Patienten mit koronarer Herzkrankheit (KHK)

Inzwischen wurde die Effektivität des 4x4 Minuten Protokolls (HIIT) in



mehreren randomisierten Studien bei KHK-Patienten im Vergleich zu MCT untersucht. Ergebnisse einer aktuellen Meta-Analyse, welche zehn Studien mit 273 Patienten mit KHK, CHF oder bestehenden kardiovaskulären Risikofaktoren integrierte, zeigen einen Vorteil zugunsten HIIT im Vergleich zu MCT. Durch ein 12–16-wöchiges HIIT wurden im Mittel signifikant größere Verbesserungen der  $VO_2$ peak erzielt (+ 3,03 mL/kg/ min, 95 % CI 2,00–4,07; äquivalent zu 9,1 %)[58]. Eine zweite Metaanalyse, die neun Studien mit 206 KHK-Patienten integrierte, kommt zu vergleichbaren Ergebnissen (+1.60 mL/kg/min; 95 % CI 0,18–3,02;  $p=0,03$ ). Eine Gewichtsreduktion wurde hingegen eher durch ein MCT erzielt (-0,78 kg; 95 % CI -0,01 to 1,58;  $p=0,05$ ) [40].

Das 4x4 Minuten Protokoll nach Wisløff et al. wird bis jetzt nicht im deutschen Rehabilitationssetting angewandt [59]. Eine in einer deutschen Rehabilitationsklinik durchgeführte randomisierte Pilotstudie untersuchte die Effekte dieses Protokolls im Vergleich zum Training nach der Dauermethoden (MCT; 70–75 % HFmax) bei gleichem Trainingsumfang während einer (wie derzeit Deutschland üblich dreiwöchigen) CR. Integriert wurden insgesamt 91 KHK-Patienten mit guter linksventrikulärer Pumpfunktion. Die Effektivität beider Trainingsprotokolle war vergleichbar. In beiden Gruppen wurde die körperliche Leistungsfähigkeit signifikant verbessert (Wattmax bei HIIT +11,9 % vs. MCT +8,15 %  $p$  Zeit < 0,001;  $p$  Interaktion 0,184; Leistung bei 2 mmol/l Laktat HIIT +15,2 % vs. HVT +14,4 %;  $p$  Zeit < 0,001;  $p$  Interaktion 0,921). Es wurde hier kein Vorteil für das HIIT beobachtet [15].

Zu diskutieren wäre, ob der in Deutschland übliche zeitliche Umfang einer CR von drei Wochen aus-

reicht, um Unterschiede der Effektivität beider Trainingsmethoden herauszustellen, zumal alle in die Metaanalysen integrierten Studien eine Dauer von über zwölf Wochen hatten. Eine norwegische Untersuchung mit 59 Bypass-operierten Patienten bestätigt diese Vermutung der zu kurzen CR-Zeitdauer: nach vier Wochen Training, (5/Woche) bestanden keine Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen ( $VO_2$ peak H.I.I.T  $27,1 \pm 4,5$  vs.  $30,4 \pm 5,5$  ml/kg/min,  $p < 0,001$ ; MCT  $26,2 \pm 5,2$  vs.  $28,5 \pm 5,6$  ml/kg/min,  $p < 0,001$ ; Unterschied zwischen den Gruppen n. s.) [34].

Eine weitere aktuelle belgische Studie konnte keine Vorteile des HIIT feststellen. Hier wurde die Effektivität des 4 x 4 Minuten Protokolls bei 200 KHK-Patienten (LV-EF > 40 %) während einer 12-wöchigen CR mit der eines MCT verglichen. Die Autoren konnten keinen Vorteil für die eine oder andere Trainingsmethode feststellen ( $VO_2$ peak HIIT +22,7 % vs. MCT +20,3 %;  $p$  Zeit 0,001;  $p$  Interaktion n.s.) [3].

In beiden Studien wurde das Training, auch das HIIT gerne von den Patienten angenommen und es wurden keine negativen Begleiterscheinungen beobachtet. Conraads et al. sind der Ansicht, dass es primär auf eine ausreichend hohe Intensität und Umfang des Trainings ankommt, um gute Trainingseffekte zu erreichen. In dieser Studie lag die tatsächliche Trainingsintensität für das MCT relativ hoch mit im Mittel bei  $\geq 80$  %. Diese hohe Intensität wurde für das MCT von den Patienten gut toleriert [3].

Der Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse im Vergleich zu den Metaanalysen könnte somit dadurch zustande kommen, dass in den meisten in die Metaanalysen integrierten Studien die Intensität für das MCT deutlich niedriger war

(65 % HFmax) als in diesen beiden Studien. Beide Autorinnen [3, 15] berichten zudem, dass die für das HIIT angestrebte Intensität (90–95 % HFmax) von den Patienten nicht immer erreicht bzw. über vier Minuten aufrechterhalten werden konnte. In einer kürzlich publizierten Arbeit konnten Moholdt et al. zeigen, dass auch bei einem HIIT die tatsächliche Trainingsintensität (% HFmax) entscheidend für die Effizienz des Trainings ist. Bei 112 KHK-Patienten, die zwölf Wochen mit dem 4x4 Minuten Protokoll trainierten, wurden signifikant größere Verbesserungen der  $VO_2$ peak in der Gruppe, die im Mittel mit der höchsten Intensität trainierte (> 92 % HFmax), erzielt [35]. Aus den Ergebnissen dieser Studie kann auch gefolgert werden, dass die angestrebte sehr hohe Intensität von 90–95 % HFmax nur von einem Teil der Patienten beim Training tatsächlich erreicht wurde.

Zusammenfassend lernen wir von diesen Ergebnissen, dass hohe Intensitäten < 80–95 % HFmax von KHK-Patienten während einer CR durchaus gut toleriert werden können und diese zu größeren kurzfristigen Effekten auf die körperliche Leistungsfähigkeit führen. Dies ist ungeachtet der Trainingsform bei HIIT oder MCT zu beobachten. Beide Trainingsformen können wie oben dargelegt als sicher angenommen werden und sind nicht mit einer höheren Gefährdung des Patienten verbunden [46].

Es können durchaus individuelle Unterschiede bestehen in der Akzeptanz und Motivation der Patienten, aber auch in der Toleranz der einen oder anderen Trainingsmethode. Diese kann ggf. in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Komorbiditäten und Schweregrad der Erkrankung unterschiedlich ausfallen. Hierzu fehlen jedoch Erfahrun-



gen. In der Praxis der CR ist auch eine Kombination beider Trainingsformen vorstellbar. Dies erlaubt ebenfalls herauszufinden, welche Methode für welchen Patienten am besten geeignet ist und zum größten Trainingserfolg führt.

Nur wenige prospektive Langzeitstudien haben die Nachhaltigkeit und die Langzeiteffekte eines HIIT bei KHK-Patienten untersucht. Eine norwegische Studie untersuchte die Effekte eines 6-monatigen Heimtrainings nach initialer 4-wöchiger CR bei 51 bypassoperierten Patienten [34]. Das Heimtraining führte nur in der Gruppe zu einer signifikanten weiteren Steigerung der  $VO_2$ peak im Beobachtungszeitraum (HIIT  $30,4 \pm 5,5$  vs.  $32,2 \pm 7,0$  ml/kg-1/min-1,  $p < 0,001$ ; MCT  $28,5 \pm 5,6$  vs.  $29,5 \pm 5,7$  ml/kg-1/min-1). Die Autoren vermuten, dass dieser Effekt durch die höhere Intensität des Heimtrainings in der Gruppe zustande kommt. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Patienten durch das HIIT ein größeres Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit gewinnen und sich zu Hause mehr zutrauen.

In einer auf sechs Monate angelegten Trainingsstudie HIIT versus „usual care“ konnte bei 40 Patienten mit vorausgegangener PTCA neben einer signifikanten Verbesserung der  $VO_2$ peak ein positiver Einfluss auf Parameter der Herzfrequenzvariabilität (HRV) festgestellt werden. Zudem konnte eine signifikante Verbesserung des Dilatationserfolges nach BM- und DE-Stentimplantation sechs Monate nach Intervention (das sog. „late-lumen-loss“) nachgewiesen werden. Als Ursache vermuten die Autoren eine NO-Freisetzung und damit verbundene Proliferationshemmung der Neo-Intima bei in dieser Studie ebenfalls verbesserter endothelialer Funktion (FMD-Messung der A. brachialis) ne-

ben einer Verminderung des hs-CRP. Die Autoren stellten eine signifikante Korrelation zwischen den Veränderungen der HRV und der Verbesserung der  $VO_2$ peak durch das Training nicht aber zwischen der HRV und der Veränderungen der Endothelfunktion [37].

In weiteren Arbeiten wurden Verbesserungen der diastolischen linksventrikulären Funktion (nur bei HIIT), der systolischen linksventrikulären Ejektionsfraktion, der Endothelfunktion, verschiedener Serumparameter wie Serum-Adiponectin und -Ferritin in Studien mit bis zu 30 Monaten Beobachtungszeit festgestellt [34]

Die aktuelle Datenlage im Hinblick auf Kurzzeiteffekte eines hochintensiven Trainings bei KHK-Patienten erscheint ausreichend, um dieses Training zu empfehlen. HIIT wird gut toleriert und ist nicht mit einer höheren Gefährdung des Patienten als durch MCT verbunden: Insbesondere die sog. „ischämische Präkonditionierung“, bekannt aus Tierversuchen der 1970er Jahre und aus PTCA-Studien beim Menschen, zeigt durch Reduktion der Ischämieareale bzw. durch verminderte ST-Streckensuppressionen diesbezüglich sogar Vorteile [5, 25].

Derzeit stehen neue Marker der Endothelfunktion, sog. endotheliale Mikropartikel (EMP) (erhöht bei endothelialer Dysfunktion, Schäden oder einer Apoptose) im Fokus der Forschung. Diese waren 20 Minuten, 24 und noch 72 Stunden nach HIIT-Protokollen nicht erhöht [20]. Sowohl MCT als auch HIIT verbessern die endotheliale Funktion [6]. Welchen Einfluss das HIIT auf die Prognose von KHK-Patienten hat, kann derzeit noch nicht beantwortet werden. Welche Trainingsmethode Patienten eher motiviert ihr Training nach Abschluss der CR fort-

zuführen, ist ebenso unklar. HIIT erweitert jedoch die Möglichkeiten für den Patienten.

### Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz (CHF)

Bereits in den 1990er Jahren wurden von Meyer et al. erste Erfahrungen mit Intervalltraining bei Patienten mit CHF gesammelt [30].

Die mittels „steilen Rampentest“ ermittelten Intervalltrainingsprotokolle (30/60 Sek) wiesen für ein Training zwischen 17 und 35 Minuten  $> 70\%$  der  $VO_2$ peak eine nur 5- bis 8-minütige effektive Belastung („pedaltime“) auf. Sie konnten zeigen, dass hierdurch niedrige Werte für das subjektive Belastungsempfinden (RPE-Borg-Skala), ein niedrigeres Druckfrequenzprodukt als Ausdruck der kardialen Arbeit sowie niedrigere Katecholamin-Spiegel trotz erhöhter Laktat Spiegel erreicht wurden [30].

Die periphere Stimulation war somit höher bei gleichzeitig verminderter kardialer Belastung. Dieses Prinzip ist bei chronischen Erkrankungen wie der CHF zur Vermeidung einer peripheren Dekonditionierung (syn: „muscle-waste-syndrom“) vorteilhaft bzw. erwünscht [31]. Die signifikant bessere Prognose von CHF-Patienten mit aufgehobener bzw. verminderter Gewichtsabnahme kann durch den Erhalt der Muskelmasse als relevanter Anteil des Körpergewichtes erklärt werden.

Leider ist die Effizienz dieser Methoden nur unzureichend untersucht. Nechwatal et al. untersuchten 2002 in einer randomisierten kontrollierten Studie die Effekte dieser Form des „klassischen Intervalltrainings“ noch ohne HIIT im Vergleich zum „üblichen Training“ nach der Dauerperiode (MCT), während einer dreiwöchigen CR.



Die Ergebnisse zeigen beide Trainingsmodalitäten als gleichermaßen effektiv zur Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit von CHF-Patienten [39].

Wisløff et al zeigten dann 2007 bei CHF-Patienten, dass ein HIIT bei 90–95 % der maximalen Herzfrequenz auf dem Laufband auch im Vergleich zu einem MCT eine hochsignifikante Verbesserung der  $VO_{2peak}$  (MCT  $13,1 \pm 1,1$  zu  $14,9 \pm 0,9$  ml/kg/min  $p < 0,01$ ; HIIT  $13,0 \pm 1,6$  zu  $19,0 \pm 2,1$  ml/kg/min  $p < 0,01$ ; zwischen Gruppen  $p < 0,01$ ) erbrachte [31]. Zudem wurde nur in der HIIT-Gruppe eine signifikante Steigerung der Ejektionsfraktion festgestellt (MCT  $32,8 \pm 4,8$  % zu  $33,5 \pm 5,7$  % ns; HIIT  $28,0 \pm 7,3$  % zu  $38,0 \pm 9,8$  %  $p < 0,01$ ; zwischen Gruppen  $p < 0,01$ ) [59].

Zwei aktuelle Meta-Analysen, die sieben Studien mit 168 CHF-Patienten integrierten, in denen die Effektivität von HIIT vs. MCT verglichen wurde, (Studiendauer 3–16 Wochen) bestätigten eine signifikant höhere Zunahme der  $VO_{2peak}$ , durch das HIIT (HIIT vs. MCT, + 2.14  $VO_{2peak}$  ml/kg/min, 95 % CI 0.66 to 3.63) [10, 49]. Hinsichtlich des Einflusses beider Trainingsmodalitäten auf die Ejektionsfraktion sind die Ergebnisse jedoch nicht konklusiv (HIIT vs. MCT, +3,29 %, 95 % CI 0.7–7,28 %) [10].

Ergebnisse eines systematischen Reviews und Metaanalyse demonstrieren eindrucksvoll, dass auch bei CHF-Patienten eine höhere Trainingsintensität mit einer größeren Verbesserung der  $VO_{2peak}$  einhergeht. Hier wurden die Effektivität von 74 Studien an insgesamt 5877 CHF-Patienten, die mit unterschiedlicher Trainingsintensität arbeiteten (9 hochintensiv; 38 intensiv; 24 moderat; 5 niedrig), auf die

$VO_{2peak}$  verglichen. Das Training führte in allen Intensitätsbereichen zu einer Verbesserung der  $VO_{2peak}$ . Die größten Effekte wurden jedoch im Mittel bei dem hochintensiven Training erzielt (hochintensiv +3,33 ml/kg/min; intensiv + 2,27 ml/kg/min; moderat + 2,17 ml/kg/min; niedrig + 1.04 ml/kg/min  $VO_{2peak}$ ). Bei keiner der integrierten Studien traten bei diesem Hochrisiko-Patientenkollektiv kardiologische Zwischenfälle auf, die im Zusammenhang mit dem Training standen. Durch die Kombination von HIIT und zusätzlichem Krafttraining wurden bessere Effekte erzielt, was den positiven Effekt des Erhalts der Muskelmasse bestätigt [49].

Insgesamt demonstrieren diese Ergebnisse eine hohe Effektivität des HIIT bei CHF-Patienten, die zudem durch die hiermit verbundenen verminderten Dyspnoe (d.h. weniger Atemarbeit) zu einer verbesserten und anhaltenden Adhärenz führen kann. Der Zeitaufwand bei ähnlich kalkuliertem Energieumsatz ist kürzer. Dadurch könnte das HIIT insbesondere im Bereich der Motivation für diese schwer erkrankten Patienten deutliche Vorteile aufweisen.

In keiner der vorliegenden Studien fiel eine Provokation von (insbesondere ventrikulären) Herzrhythmusstörungen auf. Ganz im Gegenteil nahm diese im Rahmen von 24-Stunden-EKG-Untersuchungen bei Patienten nach HIIT im Vgl. zum MCT oder bei den Kontrollgruppen signifikant ab [22].

Eine aktuelle Studie aus drei norwegischen Rehabilitationszentren ergab unter 4846 Patienten mit insgesamt 175 820 Trainingseinheiten (TU), in sieben Jahren das Risiko, einen Herzstillstand zu erleiden, ein Risiko von 1:58 607 Einheiten (insgesamt drei Fälle), von denen sich ein Fall bei moderater Trainingsintensität (mit tödlichem Ausgang, Risiko 1:129 456 TU) und zwei Fälle bei hoher Trainingsintensität (jeweils mit nicht-tödlichem Ausgang, Risiko 1:23 182 TU) ereigneten [35].

Die Wahrscheinlichkeit eines plötzlichen Herztodes ist somit bei beiden Trainingsintensitäten sehr niedrig, aufgrund des insgesamt sehr seltenen Ereignisses ist statistisch ein Typ-II-Fehler nicht ausgeschlossen.

Während ältere Studien bei unveränderter systolischer LV-Funktion bereits periphere, muskuläre Adaptationen bei der signifikanten Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme in den Vordergrund stellten, wurde dies in den aktuellen Untersuchungen im Hinblick auf die Endothelfunktion (FMD-Messung der A. brachialis) wie auch durch Muskelbiopsien (M. vastus lateralis) bestätigt [31, 59].

Durchführung von HIIT mit CHF kann als sicher und praktikabel angenommen werden und scheint in den bisherigen vorliegenden, überwiegend kleinen Studienkollektiven, für die Verbesserung der  $VO_{2peak}$  dem MCT überlegen zu sein. Die Ergebnisse einer multi-

#### KHK, normale EF, Belastungstoleranz > 5 MET

HIIT 2x/Woche bei 60%  $VO_{2peak}$   
(nach 4 Wo 80%  $VO_{2peak}$ , nach 8 Wo 100%  $VO_{2peak}$  bei 3-monatiger CR)

#### Eingeschränkte EF, Belastungstoleranz < 5 MET

2 Wochen nur MCT, danach erst H.I.I.T. 2x/Woche bei 60%  $VO_{2peak}$   
(nach 4 Wo 80%  $VO_{2peak}$ , nach 8 Wo 100%  $VO_{2peak}$  bei 3- bis 4-monatiger CR)

Tab. 3: Integration des HIIT in der Rehabilitationspraxis [nach 9].



zentrischen, kontrollierten, prospektiven Studie zum HIIT bei Patienten mit CHF stehen noch aus (SMART-EX-HF-Study).

Welchen Einfluss das HIIT auf die Prognose von CHF hat ist noch unklar. Prospektive Studie mit ausreichender langer follow-up Periode fehlen.

### Integration des HIIT in der Rehabilitationspraxis

Zusammenfassend bestätigen die vorliegenden Daten die Wirksamkeit und die Sicherheit des HIIT auch für die Anwendung in der kardiologischen Rehabilitation.

Die Daten von (überwiegend ambulanten) Rehabilitationszentren, die HIIT in der kardiovaskulären Rehabilitation in Phase II und Phase III anwenden, weisen bei bereits über 100 000 Patienten-Trainingsstunden keine signifikanten Komplikationen bei der Durchführung von HIIT auf. Voraussetzung hierfür ist eine wie auch für andere Trainingsformen sorgfältige Risikostratifizierung, inklusive Belastungsuntersuchung.

Die aktuellen europäischen Leitlinien zur Prävention kardiovaskulärer Erkrankungen in ihrer Version von 2012 weisen regelmäßiger körperlicher Aktivität einschließlich aerober Trainingsformen eine Verminderung der kardiovaskulären Sterblichkeit zu. Im Hinblick auf das HIIT wird die bisherige Studienanlage als noch nicht ausreichend angesehen, ob HIIT gegenüber dem MCT im Hinblick auf die anzustrebende kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit oder eine Verbesserung der linksventrikulären Pumpfunktion bei CHF-Patienten überlegen sei [43].

Im Gegensatz hierzu hat die American Heart Association (AHA) bereits in ihrem Update von 2007 das Intervalltraining bei aeroben Belastun-

gen als eine der Kernkomponenten neben dem klassischen MCT, wie auch dem Kraft(ausdauer)training gleichgestellt. Hier bleibt jedoch die genaue Dosierung bzw. der Anteil des HIIT am Gesamtumfang des körperlichen Trainings offen [1].

Die nachfolgende Tabelle zeigt ein entsprechend praktikables Vorgehen nach Risikostratifizierung des einzelnen Rehabilitanden im Rahmen einer mehrmonatigen Rehabilitation entsprechend Phase II/III [9] (► Tab. 3).

### Zusammenfassung

1. Der Benefit körperlicher Aktivität zur Prävention von und bei vorliegenden Herzkreislauferkrankungen ist langjährig belegt.
2. HIIT und MCT sind dabei gleichberechtigte Bewegungskonzepte und somit kein Ersatz oder gar eine Konkurrenz. Eine Mischung beider Konzepte ist vermutlich das geeignete Vorgehen, auch aus Gründen der Motivation für den einzelnen Patienten.
3. Die bisherigen drop-out-Quoten bei HIIT sind in Studien nicht höher als beim MCT.
4. Im Vergleich zum klassischen Ausdauertraining im Sinne des MCT kann das als eher spielerisch wahrgenommene HIIT eine attraktive(re) Alternative zur Förderung der Langzeit-Adhärenz und des Beibehalts körperlicher Aktivität bedeuten.
5. Der zeitliche Aufwand ist beim HIIT bei isokalorischem Trainingsumfang deutlich geringer.
6. HIIT weist (auch aus subjektiver Rehabilitandensicht) schnellere Ergebnisse als MCT auf, hier liegt ein weiterer Motivationsfaktor vor.
7. Die bisherigen Studien weisen eine Untersuchungsdauer bei HIIT von maximal vier Monaten auf, mögliche Überlastungsschäden im Langzeitverlauf sind bisher nicht untersucht.

8. Bei ICD-Patienten im Rahmen der chronischen Herzinsuffizienz liegen erst sehr kleine Studien vor, zu Patienten mit CRT-Systemen liegen bislang keine Untersuchungen vor.
9. Bei Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit (pAVK) wurde bislang lediglich die Praktikabilität von HIIT untersucht.
10. Die Ergebnisse weiterer (z. B. CUT-IT) und insbesondere langfristiger sowie die der ersten multizentrischen, randomisierten und prospektiven Studie bei den unterschiedlichen Patientenkollektiven bleiben abzuwarten (z. B. SAINTEX-CAD) [2, 3, 42].

### Literatur

1. Balady GJ, Williams MA, Ades PA, et al. Core Components of Cardiac Rehabilitation / Secondary Prevention Programs: 2007 Update: A Scientific Statement from the American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee, the Council on Clinical Cardiology, the Councils on Cardiovascular Nursing, Epidemiology and Prevention, and Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; and the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. *Circulation* 2007; 115: 2675–2682
2. Conraads VM, Van Craenenbroeck ME, Pattyn N et al. Rationale and design of a randomized trial on the effectiveness of aerobic interval training in patients with coronary artery disease: The SAINTEX-CAD study *Int J Cardiol* 2013;168: 3532–3536
3. Conraads VM, De Maeyer C, Pattyn N et al. Comparison of aerobic interval training with moderate endurance training in patients with coronary artery disease. Results from the SAINTEX-CAD study. *Abstract 54, EuroPrevent 2014, Amsterdam May 8th–10th*
4. Cornelissen VA, Arnout J, Holvoet P et al. Influence of exercise at lower and higher intensity on blood pressure and cardiovascular risk factors at older age *J Hypertens* 2009;27: 753–762
5. Cribier A, Korsatz L, Koning R, et al. Improved myocardial ischemic response and enhanced collateral circulation with long repetitive coronary occlusion during angioplasty: a prospective study. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 578–586
6. Currie KD, Dubberley JB, McKelvie RS et al. Low-volume, high-intensity interval training in patients with CAD. *Med Sci Sports Exerc* 2013;45: 1436–1442
7. Fu TC, Wang CH, Lin PS, et al. Aerobic interval training improves oxygen uptake efficiency by enhancing cerebral and muscular hemodynamics in patients with heart failure *Int J Cardiol* 2013; 167: 41–50
8. Gibala MJ, McGee SL. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain?



## Zusammenfassung

Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs verursachen europaweit unverändert etwa die Hälfte aller Todesfälle. Neben den langjährig gesicherten Effekten eines moderaten aeroben Ausdauertrainings (MCT, „moderate-intensity-continuous-training“) stehen andere und komplementäre Trainingsmodalitäten im Mittelpunkt der aktuellen Forschung. Daten aus der Primärprävention belegen unabhängig von Alter und Geschlecht eine signifikante inverse Dosisabhängigkeit zwischen der Bewegungsintensität und der Gesamtsterblichkeit.

Höhere Trainingsintensitäten führen hier zu größeren, kardiovaskulär prognostisch relevanten Effekten und damit verbunden bei geringerem Trainingsumfang und Zeitaufwand zu einer Sen-

kung des kardiovaskulären Risikos.

Bei guter Toleranz und ohne erhöhtes Risiko belegen aktuelle und große Kohortenstudien eine klinische Gleichwertigkeit des im Fokus stehenden hochintensiven Intervalltrainings (HIIT, „high-intensity-interval-training“) auch in der Sekundärprävention bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung (KHK) und kompensierter chronischer Herzinsuffizienz (CHF) im Rahmen einer kardiologischen Rehabilitation.

**Schlüsselwörter:** Kardiologische Rehabilitation, Koronare Herzerkrankung, Chronische Herzinsuffizienz, Intervalltraining, Ausdauertraining, maximale Sauerstoffaufnahme

## Summary

Cardiac and circulatory diseases predominantly count for approximately half of all causes of death throughout Europe. In addition to the long-standing effects of a moderate-intensity-continuous-training (MCT) now other and complementary acting training modalities are in the focus of current research. Data from primary prevention show, regardless of age and gender, a significant inverse dose-dependency between exercise intensity and total mortality.

Higher exercise intensities lead to greater cardiovascular and prognostic relevant effects. They are associated with less training volume and time re-

quired to decrease cardiovascular risk.

Recent large cohort studies show a clinical equivalence of high-intensity interval training (HIIT) in comparison to MCT in secondary prevention in patients with coronary heart disease (CHD) and compensated chronic heart failure (CHF). HIIT is well tolerated by these patients and no increased risk has been observed in a cardiac rehabilitation setting so far.

**Keywords:** cardiac rehabilitation, coronary heart disease, chronic heart failure, interval training, endurance training, maximum oxygen uptake

- Exerc Sport Sci Rev 2008; 36: 58–63
9. Guiraud T, Nigam A, Gremeaux V, et al. High-Intensity Interval Training in Cardiac Rehabilitation. *Sports Med* 2012; 42: 587–605
10. Haykowsky MJ, Timmons MP, Kruger C, et al. Meta-analysis of aerobic interval training on exercise capacity and systolic function in patients with heart failure and reduced ejection fractions. *Am J Cardiol* 2013;111: 1466–1469
11. Helgerud J, Karlsen T, Kim WY, et al. Interval and strength training in CAD patients. *Int J Sports Med* 2010; 32: 54–59
12. Heran BS, Chen JM, Ebrahim S, et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease *Cochrane Database Syst Rev*. 2011 Jul 6;(7):CD001800
13. Hill AV, Long CNH, Lupton H (1924a). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. Parts I-III. . *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*: 1924; 96: 438–475
14. Hill AV, Long CNH, Lupton H (1924b). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. Parts IV-VI. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*: 1924; 97: 84–138
15. Hofmann R, Gogol C, Karoff M, et al. Impact of continuous exercise intensity versus high intensity interval exercise training on endurance capacity in coronary artery disease patients with preserved left ventricular function. Abstract P181, EuroPrevent 2014, Amsterdam May 8th-10th
16. Ismail H, McFarlane JR, Nojournian AH, et al. Clinical outcomes and cardiovascular responses to different exercise training intensities in patients with heart failure. *J Am Coll Cardiol: Heart Failure* 2013;1: 514–522
17. Jolliffe JA, Rees K, Taylor RS, et al. Exercise-based rehabilitation for coronary heart disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2011;(7): CD00180
18. Kavanagh T, Mertens DJ, Hamm LF, et al. Prediction of long-term prognosis in 12 169 men referred for cardiac rehabilitation. *Circulation*. 2002;106 :666–671
19. Kavanagh T, Mertens DJ, Hamm LF, et al. Peak oxygen intake and cardiac mortality in women referred for cardiac rehabilitation. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42: 2139–2143
20. Kemi OJ. Moderate vs. high exercise intensity: Differential effects on aerobic fitness, cardiomyocyte contractility, and endothelial function. *Cardiovascular Research* 2005;67: 161–172
21. Kraus WE, Houmard JA, Duscha BD, et al. Effects of the amount and intensity of exercise on plasma lipoproteins. *N Eng J Med* 2002;347: 1483–1492
22. Labrunee M, Guiraud T, Gaucher-Cazalis K, et al. Improvement of ventricular arrhythmias and heart rate variability after a single session of intermittent exercise in chronic heart failure patients [abstract no P567]. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2011; 18 (suppl. 1): 1225
23. Lee IM, Sesso HD, Oguma Y, et al. Relative intensity of physical activity and risk of coronary heart disease. *Circulation* 2003; 107: 1110–1116
24. Löllgen H, Böckenhoff A, Knapp G. Physical Activity and all-cause mortality: an updated meta-analysis with different intensity categories. *Int J Sports Med* 2009; 30: 213–24
25. McElroy CL, Gissen SA, Fishbein MC. Exercise-induced reduction in myocardial infarct size after coronary artery occlusion in the rat. *Circulation* 1978; 57: 958–962





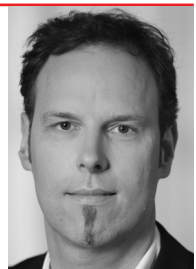
26. Maldonado-Martin S, Jurio-Iriarte B, Camacho-Azkargorta I. Effects of 8 and 12 weeks of high-intensity aerobic interval training vs. moderate exercise on blood pressure and cardiorespiratory condition in hypertensive patients: a randomized controlled trial. Abstract 62, EuroPrevent 2014, Amsterdam May 8th-10th
27. Martin BJ, Arena R, Haykowsky M et al. (APPROACH Investigators). Cardiovascular fitness and mortality after contemporary cardiac rehabilitation. *Mayo Clin Proc.* 2013;88 :455-463
28. Martin L, Oepen J, Reinehr T et al. Ethnicity and cardiovascular risk factors: evaluation of 40 921 normal-weight, overweight or obese children and adolescents living in Central Europe. *Int J Obes (Lond).* 2014, Sep 12. doi: 10.1038/ijo.2014.167. [Epub ahead of print]
29. Meyer K, Lehmann M, Sunder G, et al. Interval versus continuous exercise training after coronary bypass surgery: a comparison of training-induced acute reactions with respect to the effectiveness of the exercise methods. *Clin Cardiol* 1990; 13: 851-861
30. Meyer K, Samek L, Schwaibold M, et al. Physical responses to different modes of interval exercise in patients with chronic heart failure: application to exercise training. *Eur Heart J* 1996; 17: 1040-1047
31. Meyer K, Schwaibold M, Westbrook S, et al. Effects of short-term exercise training and activity restriction on functional capacity in patients with severe chronic congestive heart failure. *Am J Cardiol* 1996; 78: 1017-1022
32. Meyer K, Samek L, Schwaibold M, et al. Interval training in patients with severe chronic heart failure: analysis and recommendations for exercise procedures. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29: 306-312
33. Meyer P, Normandin E, Gayda M, et al. High intensity interval exercise in chronic heart failure: protocol optimization. *J Card Fail* 2012; 18: 126-33
34. Moholdt T, Amundsen BH, Rustad LA, et al. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise after coronary artery bypass surgery: a randomized study of cardiovascular effects and quality of life. *Am Heart J* 2009; 158: 1031-1037
35. Moholdt T, Madssen E, Rognmo O, et al. The higher the better? Interval training intensity in coronary heart disease. *J Sci Med Sport* 2014;17: 506-510
36. Möbius-Winkler S, Hilberg T, Menzel K, et al. Time dependent mobilization of circulating progenitor cells during strenuous exercise in healthy individuals. *J Appl Physiol* 2009; 107: 1943-1950
37. Munk PS, Butt N, Larsen AI. High-intensity interval exercise training improves heart rate variability in patients following percutaneous coronary intervention for angina pectoris. *Int J Cardiol* 2009; 145: 312-314
38. Myers J, Prakash M, Froehlicher V, et al. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Eng J Med* 2002;346: 793-801
39. Nechwatal RM, Duck C, Gruber G. Physical training as interval or continuous training in chronic heart failure for improving functional capacity, hemodynamics and quality of life—a controlled study. *Z Kardiol.* 2002;91: 328-337
40. Pattyn N, Coeckelberghs E, Buys R, et al. Aerobic interval training vs. moderate continuous training in coronary artery disease patients: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2014;44: 687-700
41. Nichols M, Townsend N, Scarborough P, et al. European cardiovascular disease statistics: Edition 2012, <http://www.ehnheart.org/cvd-statistics/cvd-statistics-2012.html>. Accessed 1 Nov 2012
42. Pedersen LR, Olsen RH, Frederiksen M et al. Copenhagen study of overweight patients with coronary artery disease undergoing low energy diet or interval training: the randomized CUT-IT trial protocol *BMC Cardiovascular Disorders* 2013;13: 106-113
43. Perk J, De Backer G, Gohlke H, et al. for The Fifth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice. European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice (version 2012). *European Heart Journal* 2012; 33: 1635-1701
44. Piepoli MF, Corrà U, Benzer W, et al. Secondary prevention through cardiac rehabilitation: from knowledge to implementation. A position paper from the Cardiac Rehabilitation Section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2010;17: 1-17
45. Rogmo O, Hetland E, Helgerud J, et al. High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2004; 11: 216-222
46. Rogmo O, Moholdt T, Bakken H, et al. Cardiovascular risk of high- versus moderate-intensity aerobic exercise in coronary heart disease patients. *Circulation* 2012;126: 1436-1440
47. Saltin B, Essen B, Pedersen P. Intermittent exercise: its physiology and some practical applications. In: Joeckle E, Anand R, Stoboy H, editors. *Advances in Exercise Physiology: Medicine Sport Series*. Basel: Karger Publishers, 1976; 23-51
48. Schnohr P, Marott JL, Jensen JS, et al. Intensity versus duration of cycling, impact on all-cause and coronary heart disease mortality: the Copenhagen City Heart Study. *Eur J Prev Cardiol* 2012; 19: 73-80
49. Smart NA, Dieberg G, Giallauria F. Intermittent versus continuous exercise training in chronic heart failure: a meta-analysis. *Int J Cardiol* 2013;186: 352-358
50. Sonou T, Higuchi M, Terada S. An acute bout of high-intensity intermittent swimming induces glycogen supercompensation in rat skeletal muscle. *Eur J Sport Sci* 2008; 8: 413-420
51. Stølen TO, Høydal MA, Kemi OJ, et al. Interval training normalizes cardiomyocyte function, diastolic Ca<sup>2+</sup> control, and SR Ca<sup>2+</sup> release synchronicity in a mouse model of diabetic cardiomyopathy. *Circulation Research* 2009;105: 527-536
52. Tanasescu M, Leitzmann MF, Rimm EB, et al. Exercise type and intensity in relation to coronary heart disease in men. *JAMA* 2002; 288 : 1994-2000
53. Tjonna AE, Lee SJ, Rognmo O, et al. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. *Circulation* 2008; 118: 346-354
54. Vanhees L, Fagard R, Thijs L, et al. Prognostic significance of peak exercise capacity in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1994;23: 358-363
55. Vanhees L, Rauch B, Piepoli M, et al. Importance of characteristics and modalities of physical activity and exercise in the management of cardiovascular health in individuals with cardiovascular disease (Part III). *Eur J Prev Cardiol* 2012;19: 1333-1356
56. Wahl P, Hägele M, Zinner C et al. High Intensity Training (HIT) für die Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit von Normalpersonen und im Präventions- & Rehabilitationsbereich. *Wien Med Wochenschr* 2010 160: 627-636
57. Warburton DE, McKenzie DC, Haykowsky MJ, et al. Effectiveness of high-intensity interval training for the rehabilitation of patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* 2005; 95: 1080-1084
58. Weston KS, Wisloff U, Coombes JS. High-Intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2014;48: 1227-1234
59. Wisløff U, Stoylen A, Loennechen JP, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation* 2007; 115: 3086-3094

#### Korrespondenzadresse:

Dr. med. Roland Nebel  
 Facharzt für Innere Medizin  
 - Kardiologie - Sportmedizin -  
 Sozialmedizin, Ernährungsmedizin  
 Leitender Arzt der Kardiologie  
 medicos.Osnabrück  
 Weidenstr. 2-4  
 49080 Osnabrück  
 Tel.: +49 (0)541/4065 - 350  
 Fax: +49 (0)541/4065 - 203  
 E-Mail: r.nebel@medicos-osnabrueck.de  
 Internet: www.medicos-osnabrueck.de



Prof. B. Bjarnason-Wehrens



Dr. med. Roland Nebel