

Kemmler W<sup>1</sup>, Tutor M<sup>2</sup>, Lell M<sup>3</sup>, Scharf M<sup>3</sup>, Fraunberger L<sup>4</sup>, von Stengel S<sup>1</sup>

# Einfluss hoher vs. niedriger Reizintensität auf die Ausdauerleistungsfähigkeit untrainierter Männer – die RUSH-Studie

*Effects of High Versus Low Exercise Intensity on Endurance Capacity in Untrained Males – the RUSH Study*

<sup>1</sup> Institut für Medizinische Physik, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

<sup>2</sup> Institut für Sportmedizin, Klinikum Nürnberg

<sup>3</sup> Institut für Radiologie, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

<sup>4</sup> Institut für Sportwissenschaften und Sport, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

## ZUSAMMENFASSUNG

**Problemstellung:** Hoch-Intensives-Intervall-Training (HIIT) findet im Breiten- und Gesundheitssport zunehmend Anwendung. Ziel der Untersuchung war es, den Effekt eines 16-wöchigen HI(I)T- versus eines moderat-intensiven (Dauer-) Lauftrainings (MICE) auf Leistungszuwachs und physiologische Determinanten bei untrainierten Männern im mittleren Lebensalter zu evaluieren.

**Methoden:** 81 gesunde, untrainierte Männer (30-50 Jahre; BMI: 27,2±3,7 kg/m<sup>2</sup>) wurden einer HI(I)T-Laufgruppe (n=40) und einer Warte-/Kontrollgruppe (n=41), die nach Ablauf ihres Kontrollstatus in eine MICE-Laufgruppe übergang, zugelost. Das HI(I)T-Training beinhaltete Intervallbelastung zwischen 90 s und 12 min an oder über der anaeroben Schwelle (95-110% Schwellen-Herzfrequenz; ≈80-100% Hf<sub>max</sub>), das MICE-Training sah Dauerbelastungen im Bereich 70-82,5% der Schwellenherzfrequenz (≈60-82,5% HF<sub>max</sub>) vor. Die Trainingsprotokolle wurden bezüglich physikalischer Arbeit angeglichen. Als Endpunkte wurden die Leistung (Zeit bis Belastungsabbruch: TTE), die maximale Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2max</sub>) und die Laufökonomie (RE) im Lauf-Stufentest bis zur Ausbelastung erfasst.

**Ergebnisse:** Die TTE stieg in beiden Gruppen vergleichbar (p=,297) signifikant an (HI(I)T: 27,2±17,7% versus MICE: 29,0±19,4%; je p=,001). Die VO<sub>2max</sub> (HI(I)T: 14,7±9,3% versus MICE: 7,9±7,4%, je p=,001) unterschied sich hingegen ebenso signifikant (p=,002) zwischen den Gruppen wie die Laufökonomie mit signifikanten Verbesserungen innerhalb der MICE- (-5,7±9,3%, p=,005) und signifikanten Verschlechterungen in der HI(I)T-Gruppe (3,0±10,3%, p=,148; p=,003).

**Diskussion:** Beide Trainingsmethoden sind in der initialen Phase der trainingsinduzierten Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit Untrainierter vergleichbar effektiv, allerdings unterscheiden sich die physiologischen Mechanismen dieses Leistungszuwachses signifikant. Insofern trifft die Lehrbuchmeinung zu, dass hochintensive Trainingsreize eher über „Maximierungseffekte“, moderat-intensive Reize verstärkt über „Ökonomisierungseffekte“ auf den Organismus einwirken.

**Schlüsselwörter:** Lauftraining; Reizintensität; HIIT; Untrainierte, VO<sub>2max</sub>, Laufökonomie

## SUMMARY

**Background:** Recent studies determined positive effects of isolated high intensity interval training (HIIT) on endurance parameters that reached or even exceeded the corresponding effects of more traditional low intensity continuous exercise protocols (MICE). The purpose of this study was to determine the effect of 16 weeks of HIIT- versus MICE-running exercise on performance parameters, maximum aerobic capacity (VO<sub>2max</sub>) and running economy (RE) in untrained males.

**Methods:** Eighty-one untrained males (30-50 years, BMI: 27.2±3.7 kg/m<sup>2</sup>) were randomly assigned to either a HI(I)T (n=40) or a waiting-control/MICE-group (n=41). HI(I)T consisted of intervals and intense continuous running bouts at or above the individual anaerobic threshold (IAT)(95-110% of IAT-HR; ≈80-100% HR<sub>max</sub>), while MICE focused on continuous running at 70-82.5% IAT-HR (≈60-82.5% HR<sub>max</sub>). Both programs were adjusted for "total workload". Study endpoints were "time to exhaustion" (TTE), VO<sub>2max</sub> and RE as assessed by stepwise treadmill test to a voluntary maximum.

**Results:** TTE significantly (p=,001) increased comparably (p=,297) in both exercise groups (HI(I)T: 27.2±17.7% versus MICE: 29.0±19.4%, both p<,001). VO<sub>2max</sub>-changes were significantly higher (p=,002) in the HI(I)T (14.7±9.3%, p=,001) compared with the MICE-group (7.9±7.4%, p=,003). Contrarily RE among the MICE-group (-5.7±9.3%, p=,005) was significantly more favorable (p=,003) compared with the HI(I)T-group (3.0±10.3%, p=,148).

**Conclusion:** HI(I)T and MICE protocols adjusted for total workload comparably impacted running performance in untrained male subjects, however, the underlying mechanisms differ with respect to maximization and economization effects.

**Key Words:** running exercise, exercise intensity, HIIT, untrained, VO<sub>2max</sub>, running economy

## EINLEITUNG

„Moderne“ Trainingsmethoden aus dem Hochleistungssport, die hochintensives Ausdauertraining im Intervallmodus applizieren (2,3,20), finden zunehmend Anwendung im breiten- und gesundheitssportlichen Bereich (8,9,11). Das sogenannte High-Intensity Intervall Training (HIIT) definiert sich dabei über wiederholte In-

accepted: April 2014

published online: May 2014

DOI: 10.5960/dzsm.2014.126

Kemmler W, Tutor M, Lell M, Scharf M, Fraunberger L, von Stengel S: Einfluss hoher vs. niedriger Reizintensität auf die Ausdauerleistungsfähigkeit untrainierter Männer – die RUSH-Studie. Dtsch Z Sportmed. 2014; 65: 120-126.

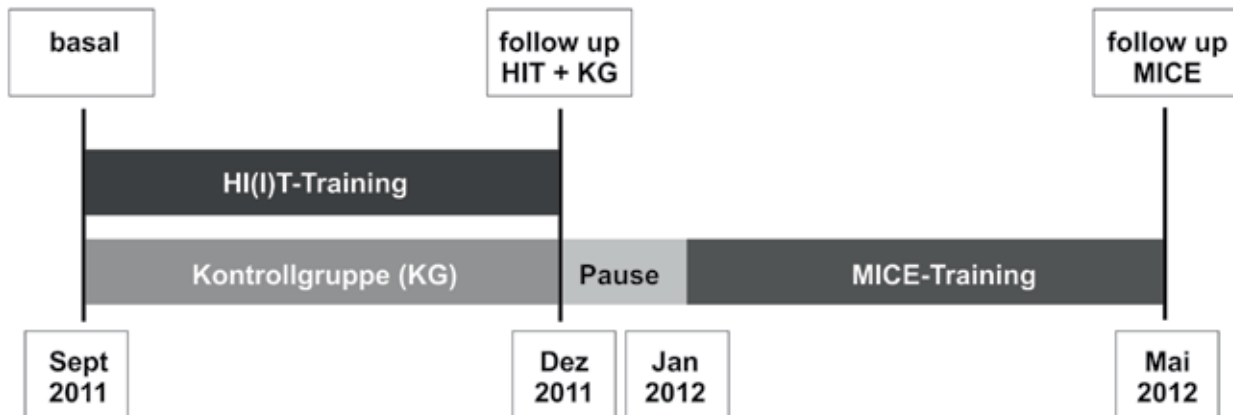


Abbildung 1: Ablaufprotokoll der RUSH-Studie.

tervallen (<45 s bis 4 min) mit hoher, aber nicht maximaler Reizintensität. Einige vergleichende Studien zeigen, dass HIIT im Vergleich zur moderat-intensiven Dauerperiode („Moderate Intensity Continuous Exercise“: MICE) bei signifikant kürzerer Trainingsdauer/-volumen mindestens ebenso effektiv (5,7,10,19) oder sogar effektiver (11,13,25,26) auf die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ) als „Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit“ einwirkt. Die maximale Sauerstoffaufnahme ist nun sicherlich eine sehr wichtige Determinante der Ausdauerleistungsfähigkeit, Laufökonomie und/oder anaerobe Kapazität leisten je nach Reizintensität/-dauer der Belastung aber ebenfalls einen hohen Erklärungsbeitrag für die erbrachte Leistung (Übersicht in (11)). Die Effektivität einer Trainingsmaßnahme hinsichtlich der Verbesserung der „tatsächlichen Ausdauerleistungsfähigkeit“ also ausschließlich über Veränderungen der  $VO_{2max}$  zu bewerten, erscheint daher nicht legitim. Ob und inwieweit HIIT und MICE die Ausdauerleistungsfähigkeit Untrainierter über grundsätzlich unterschiedliche Anpassungsmechanismen beeinflussen, wurde unseres Wissens nicht in einer vergleichenden Ausdauerstudie überprüft.

Unsere Hypothese war, dass bei vergleichbaren Effekten auf die Ausdauerleistungsfähigkeit, hochintensives (Intervall) Training (HI(I)T) signifikant günstigere Effekte auf die  $VO_{2max}$ , moderat intensives kontinuierliches Training (MICE) signifikant günstigere Effekte auf die Laufökonomie zeigt.

## MATERIAL UND METHODEN

Die Running Strengthens the Heart (RUSH)-Studie ist eine kontrollierte Studie mit randomisiertem Zwei-Gruppen Design, welche die Effekte zweier, mit unterschiedlicher Reizintensität durchgeführter 16-wöchiger Lauftrainingsprotokolle auf die physische Leistungsfähigkeit sowie auf (hier nicht thematisierte) metabolische- und kardiologische Parameter erfasst. Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der Friedrich-Alexander Universität Erlangen (FAU) (Ethikantrag 4463) genehmigt. Alle Studienteilnehmer gaben ihr schriftliches Einverständnis. Die Studie ist unter [www.clinicaltrials.gov](http://www.clinicaltrials.gov) (NCT01406730) registriert.

## Endpunkte

Adressierte Endpunkte der vorliegenden Untersuchung sind:

- Ausdauerleistungsfähigkeit; Zeit bis Belastungsabbruch (TTE)
- Maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ /rel.  $VO_{2max}$ )
- Laufökonomie (RE)

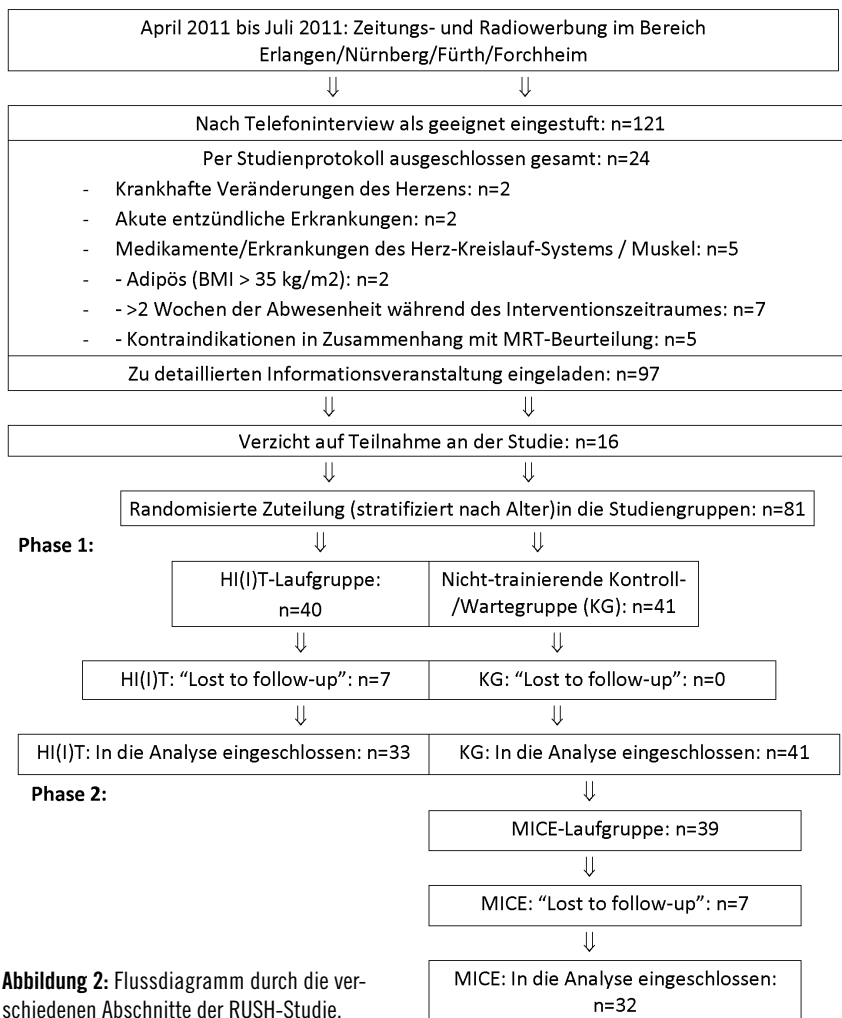
## Stichprobe

Abbildung 2 zeigt den „Teilnehmerfluss“ der Untersuchung. Zwischen April 2011 und Juli 2011 wurden über lokale Radiosender und Anzeigen in Printmedien untrainierte Männer adressiert. 121 Männer interessierten sich für das Vorhaben und wurden auf ihre Eignung hin überprüft. Nach Berücksichtigung unserer Einschlusskriterien (a) männlich, 30-50 Jahre alt, (b) untrainiert ( $\leq 2$  Trainingseinheiten (TE)/Woche bzw.  $\leq 1$  Ausdauer-TE/Wo. während der vergangenen zwei Jahre) und der Ausschlusskriterien (a) pathologische Veränderungen am Herzen, (b) akute entzündliche Erkrankungen, (c) Medikamente/Krankheiten mit Auswirkung auf unsere Endpunkte, (d) sehr niedrige physische Leistungsfähigkeit (<100 Watt Radergometer), (e)  $BMI > 35 \text{ kg/m}^2$ , (f)  $\geq 2$  Wochen Abwesenheit während des Interventionszeitraumes, wurden 97 geeignete Personen zu Informationsveranstaltungen eingeladen. Nach der Präsentation des Studiendesigns (u.a. randomisierte Gruppenzuteilung) verzichteten 16 Männer auf eine Studienteilnahme. Die verbliebenen 81 Männer wurden von einem unabhängigen Statistiker randomisiert („envelop-method“) und stratifiziert für das Lebensalter in zwei Studiengruppen aufgeteilt: (a) eine Laufgruppe mit hoher Reizintensität (HI(I)T), (b) eine Warte-Kontrollgruppe, die nach Ablauf der ersten 16-wöchigen Interventionsphase (Phase 1) und 3 wöchigen Übergangszeit ein niedrig-moderat intensives Lauftraining (MICE)) aufnahm (Phase 2) (Abb. 1).

## Messungen

Alle Untersuchungen wurden jeweils von demselben Untersucher in identischer Reihenfolge in den gleichen Räumlichkeiten zur selben Uhrzeit ( $\pm 1$ h) mit demselben Testgerät (s.u.) durchgeführt. Den Untersuchern war zudem untersagt, den Status (HI(I)T oder Warte-gruppe/MICE) der Probanden zu erfragen.

*Anthropometrische Daten:* Größe (Holtain Ltd., Crymych, GB) und Umfangswerte (Prym, Stollberg Deutschland) der Probanden



**Abbildung 2:** Flussdiagramm durch die verschiedenen Abschnitte der RUSH-Studie.

wurden mit geeichten Geräten gemessen. Körpergewicht, gesamte und regionale fettfreie Körpermasse und Körperfett wurden mittels moderner Mehrfrequenz-Bioimpedanz-Messung (Biospace Inbody-230, Seoul, Korea) erfasst.

**Ausdauerleistungsfähigkeit, Spirometrie, Laktatdiagnostik:** Die Ausdauerleistungsfähigkeit wurde per Laufband-Stufentest (Technogym, Gambetolla, Italy) bis zur subjektiven Ausbelastung erfasst. In allen Fällen lag, bezogen auf objektive Ausbelastungskriterien, ein maximaler respiratorischer Quotient von  $>1.05$  und ein  $O_2$ -Atemäquivalent von  $>30$  vor. Die Eingangsbelastung wurde in Abhängigkeit von der individuellen Leistungsfähigkeit gewählt und betrug 7 bzw. 8 km/h, um eine Belastungsdauer von mindestens 9 min zu gewährleisten. Die Laufbandsteigung betrug 1%, alle 3 Minuten wurde die Geschwindigkeit um 1 km/h erhöht. Mittels offener Spirometrie (Viasys, Conshohocken, USA), wurden  $VO_2$ ,  $VCO_2$  und VE im „breath by breath“-Verfahren kontinuierlich bestimmt. Mittels Herzfrequenzmesser (Polar RS-400, Kempele, Finnland) wurde die Herzfrequenz ebenfalls kontinuierlich erfasst. Die Spirometriedaten und die Herzfrequenz der letzten 30 s jeder Belastungsstufe wurden in die Datenanalyse einbezogen. Am Ende jeder Belastungsstufe wurde die Laktatkonzentration im Blut über Abnahme am Ohrläppchen durch die Verwendung einer enzymchemischen Messmethode bestimmt (Biosen-5130, Gemar, Celle, Deutschland).

## Intervention

Abb.1 zeigt den Ablauf der Intervention. Beide Trainingsgruppen trainierten zeitversetzt gemäß individualisierten Trainingsprotokollen über 16 Wochen. Diese Trainingspläne, die u.a. Reizintensität, -umfang, -dichte und Trainingsfrequenz vorgaben, wurden alle 4 Wochen analysiert, um Quantität und Qualität der Trainingsdurchführung zu überwachen. Die Reizhöhe wurde über die Herzfrequenz vorgegeben. Zu diesem Zweck wurde den Teilnehmern eine Pulsuhr (Polar RS 400, Kempele, Finnland) zur Verfügung gestellt. Die Pulsuhren der Teilnehmer wurden stichprobenartig (je TE 15-20 Datensätze) ausgelesen, um die Trainingsvorgaben zu überwachen. Das Trainingsvolumen wurde in beiden Trainingsgruppen schrittweise progressiv angehoben, indem die Zeit unter Belastung/TE (von initial 30-35 auf bis zu 90 min/TE) und die Anzahl der wöchentlichen Trainingseinheiten erhöht wurden. Während der ersten vier Wochen wurden 2 TE/Wo., während der zweiten Vierwochenperiode 2 bis 3 TE/Wo. absolviert. Nach dieser initialen Phase mit progressiv ansteigendem Umfang wurde während der letzten 8 Wochen des Interventionszeitraumes ein nicht lineares Trainingsprotokoll mit 3-4 Einheiten/Woche realisiert. Die Teilnehmer sollten mindestens einmal pro Woche an einer gemeinsamen, überwachten TE teilnehmen, daneben stand es den Teilnehmern frei sich an weiteren gemeinsamen Trainingseinheiten zu beteiligen.

**Laufökonomie:** Die „Running Economy“ wurde auf der Basis der  $VO_2$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) (12) für die letzten 30 s der zweiten Belastungsstufe (5:30 bis 6:00 min) erfasst. Um eine mögliche Veränderung der utilisierten Substrate bei der Energiebereitstellung zu berücksichtigen, wurde zusätzlich der respiratorische Quotient (RQ) erfasst.

**Bezugswertermittlung:** Als Basis der Bezugswerterstellung und Trainingsplanung wurde die individuelle anaerobe Schwelle (ANS) in Anlehnung an Dickhut et al. (6) als minimum Laktat + 2,0 mmol/l bestimmt. Die Geschwindigkeit, die Herzfrequenz (HF) und die Laktatwerte u.a. an der Schwelle wurden automatisch durch die „Schwelle“ Software (Wassermann, Bayreuth, Deutschland) kalkuliert.

**Fragebogen/ beeinflussende Faktoren/ Ernährung:** U.a. soziodemographische Faktoren, Ernährungsgewohnheiten, Erkrankungen, gesundheitliche Risikofaktoren, Sporttreiben und körperliche Aktivität wurden mittels Fragebogen (17) erfasst. In einem Abschlussfragebogen wurden zudem Veränderungen mit Einfluss auf unsere Studienendpunkte (bspw. Medikamenteneinnahme, Sporttreiben) abgefragt.

Zu Beginn und zum Ende der Studie wurde die Ernährung der Teilnehmer über ein 4-tägiges Ernährungsprotokoll erfasst und ausgewertet (nutri-science, Hausach, Deutschland).

Insgesamt konnten während des Interventionszeitraumes maximal 49 TE absolviert werden. Die Reizintensität wurde nach dem oben erläuterten Schwellen-Konzept (individuelle ANS) individuell über den Trainingsplan vorgegeben. Um die Genauigkeit der vorgegebenen ANS-HF zu validieren, wurde die HF-Vorgabe während der ersten Trainingseinheiten überprüft und nach Rückmeldung der Teilnehmer bzw. eigener Beobachtung ggf. entsprechend erhöht oder reduziert. Eine entsprechende Veränderung um 3-5 HFmin<sup>-1</sup> musste in 7 Fällen vorgenommen werden.

Um möglichst den isolierten Einfluss der Reizintensität auf unsere Endpunkte zu erfassen, wurden die Laufdauer der Trainingsprotokolle (HI(I)T vs. MICE) so angeglichen (1), dass die physikalische Arbeit vergleichbar (isokalorisch) wurde.

### „High-Intensity“ Trainingsgruppe (HI(I)T)

Die Reizintensität des HI(I)T-Trainings variierte überwiegend im Bereich von 95-110% ANS-HF ( $\approx 80-100\%$  HF<sub>max</sub>). Neben der Intervallmethode mit einer Intervalldauer von 90 s-12 min und einer Pausendauer von 1-3 min (70-75% ANS-HF) kamen auch kontinuierliche Dauerbelastungen (25-45 min) im Bereich der ANS (Schwellenläufe) zum Einsatz. Insofern erfolgte kein absolut konsequentes Intervalltraining, weswegen wir die Abkürzung (HI(I)T) für diesen Studienarm verwenden. Insgesamt verteilten sich die Trainingsanteile folgendermaßen:

- (1) Belastungen über der ANS (Intervall >102,5% der ANS-HF): 40% des Gesamtvolumens
- (2) Belastungen im Bereich der ANS (95-102,5% der ANS-HF): 35% des Gesamtvolumens
- (3) Niedrigintensive Belastungen deutlich unter der ANS: 25% des Gesamtvolumens

Die Trainingsanteile des „niedrigintensiven“ Belastungsbereiches setzten sich ausschließlich aus den Belastungsinhalten „Warmlaufen/Auslaufen“ und „aktiver Pause“ sowie (insgesamt zweier) regenerativer Trainingseinheiten zusammen.

**Tabelle 1:** Basale Charakteristika des Probandenkollektivs („Finisher“).

Variablen	HI(I)T-Laufgruppe (n=33)	MICE-Laufgruppe (n=32)
Alter [J.]	44,1 ± 4,7	42,9 ± 5,1
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	27,9 ± 3,6	26,7 ± 3,5
Fettmasse [%]	25,5 ± 5,7	23,4 ± 5,3
Energieaufnahme [kcal/d]	2676 ± 740	2728 ± 599
Sporttreiben [min/Wo.]	34,0 ± 34,5	33,1 ± 34,7
Arbeitszeit [h/Woche]	40,0 ± 8,8	43,5 ± 5,4

**Tabelle 2:** Trainingscharakteristika in beiden Trainingsgruppen im Vergleich („Finisher“).

Variable	HI(I)T-Gruppe	MICE-Gruppe	p
Trainingshäufigkeit gesamt [TE]	40,5 ± 5,4	40,3 ± 5,9	.926
Trainingsvolumen [min]	2092 ± 298	2303 ± 352	.012
Arbeit [kcal]	28966 ± 5228	30479 ± 6566	.317

### „Moderate Intensity Continuous Exercise“ Trainingsgruppe (MICE)

Die Reizintensität des Ausdauertrainings der MICE-Gruppe (s.u.) variierte über den Interventionszeitraum insgesamt zwar etwas deutlicher ( $\approx 70-100\%$  ANS-HF;  $\approx 60-82,5\%$  HF<sub>max</sub>) als das HI(I)T-Protokoll, der trainingsmethodische Schwerpunkt lag jedoch im Bereich von 70-82,5% der ANS-HF. Als Trainingsmethoden kamen überwiegend die extensive Dauer- und extensive Fahrtspiele (35-90 min) und lediglich vereinzelt Belastungen im Bereich der ANS (insb. zur Überprüfung der ANS, s.o.) zum Einsatz. Insgesamt verteilten sich die Trainingsanteile folgendermaßen:

- (1) Belastungen über der ANS (>102,5% der ANS-HF): 0% des Gesamtvolumens
- (2) Belastungen im Bereich der ANS (95-102,5% der ANS-HF): 5% des Gesamtvolumens
- (3) Belastungen unter der ANS (82,5-95% ANS-HF): 10% des Gesamtvolumens
- (4) Belastungen im niedrigintensiven Bereich (70-82,5% ANS-HF): 85% Gesamtvolumen

### Statistische Verfahren

Die vorliegende Untersuchung wurde im randomisierten Zweigruppen Design konzipiert. Die Berechnung der formalen Fallzahl der Untersuchung basiert auf dem wohl kritischsten Studien-Endpunkt „enddiastolisches Volumen“ der Herz-MRT-Messung. Die Ergebnisse dieser Messung sind nicht Gegenstand des hier vorgelegten Artikels und werden daher an dieser Stelle nicht näher adressiert. Die erhobene Fragestellung/Hypothese dieses Beitrags hebt zudem primär auf den Effekt unterschiedlich hoher Reizintensität ab, sodass die Daten der KG (Abb. 1) hier nicht berücksichtigt werden. Es wurde eine „Finisher-Analyse“ durchgeführt, bei der grundsätzlich alle Personen (unabhängig von deren „Compliance“), die an der Kontrollmessung teilnahmen, berücksichtigt wurden.

Nach Überprüfung der Normalverteilungsannahme mittels graphischer (Boxplot, Histogramm) und statistischer Tests (Shapiro Wilks-Test) und entsprechender log-Transformation nicht-normalverteilter Variablen wurden Zwischengruppenunterschiede bezüglich der Teilnehmercharakteristika mittels einfaktorieller ANOVA berechnet. Veränderungen der Endpunkte der vorliegenden Untersuchung innerhalb der Subgruppen wurden in Abhängigkeit von der Datenverteilung mittels T-Test für abhängige Stichproben analysiert. Die korrespondierenden Zwischengruppenunterschiede („Interventionseffekt“) zwischen den Trainingsgruppen wurden mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung analysiert. Es wurde ein Signifikanzniveau von 5% festgelegt. Alle Daten wurden mit SPSS Version 21.0 (SPSS INC, Chicago, USA) analysiert.

## ERGEBNISSE

Tabelle 1 zeigt die basalen Charakteristika im Vergleich. Für keinen Parameter wurden signifikante Zwischengruppenunterschiede erfasst.

33 Teilnehmer der HI(I)T (83%) und 32 Teilnehmer der MICE-Gruppe (80%) konnten in die Follow-up Analyse eingeschlossen werden. Neun Personen brachen aufgrund von Verletzungen oder orthopädischen Problemen, die überwiegend in Zusammenhang mit dem Lauftraining (HI(I)T: n=4 vs. MICE: n=4) standen, die Untersuchung ab. Drei Personen (HI(I)T: n=2 vs. MICE: n=1) er-

**Tabelle 3:** Effekte des HI(I)T- versus MICE-Protokoll auf die Studienendpunkte. Asterisk (\*) repräsentieren die Veränderungen innerhalb der Gruppe (n.s. nicht signifikant; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ ).

	HI(IT)	MICE	Absolute Differenz (95%-CI)	p
<b>Belastungsdauer im Stufentest (Zeit bis Belastungsabbruch, TTE) [sec]</b>				
Basal	832±247	903±263	-	-
16 Wochen	1058±265	1164±234	-	-
Differenz	226.7±119.9***	261.3±143.0***	34.6 (31.2 bis 100.5)	0.297
<b>Maximale Sauerstoffaufnahme (<math>VO_{2max}</math>) [<math>ml \cdot min^{-1}</math>]</b>				
Basal	3286±463	3394±362	-	-
16 Wochen	3749±503	3657±405	-	-
Differenz	463±278***	262±242***	201 (70 bis 331)	0.002
<b>Relative <math>VO_{2max}</math> [<math>ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}</math>]</b>				
Basal	35.9±5.6	39.5±5.5	-	-
16 Wochen	41.5±6.1	43.8±6.0	-	-
Differenz	5.6±3.2***	4.3±3.4***	1.3 (-0.4 to 3.0)	0.121
<b>Running economy [<math>VO_2 \cdot kg^{-0.75} \cdot min^{-1}</math>]</b>				
Basal	170.0±41.7	157.9±35.0	-	-
16 Wochen	175.0±42.2	148.8±30.8	-	-
Differenz	5.0±16.9 n.s.	-9.1±15.6**	14.1 (4.9 to 23.3)	0.003

kranken und standen uns nicht mehr für die Follow-up Messung zur Verfügung. Jeweils ein Proband der HI(I)T-Gruppe und MICE-Gruppe brach das Training aus nicht genannten Gründen ab, 2 Probanden der Warte-/Kontrollgruppe verloren noch vor der Aufnahme des MICE-Trainingsabschnittes das Interesse an einer weiteren Studienteilnahme.

Die Anwesenheitsrate für die HI(I)T-Gruppe lag bei 83±11% (40,5±5,4 TE; 27 bis 49 TE), die korrespondierende Rate der MICE-Gruppe betrug 82±12% (40,3±5,9 TE; 25 bis 48 TE); (Tab.2).

### Trainingscharakteristika

Tabelle 2 zeigt die Trainingshäufigkeit, das Trainingsvolumen und die geleistete Arbeit über den Interventionszeitraum. Bei identischer Trainingsfrequenz und höherem Trainingsvolumen der MICE-Gruppe war aufgrund der höheren Reizintensität der HI(I)T-Gruppe die physikalische Arbeit zwischen den Gruppen vergleichbar.

### Beeinflussende Größen

Während des Interventionszeitraumes wurden keine wesentlichen Veränderungen von Lebensstil, Ernährung, körperlicher Aktivität oder Sporttreiben erfasst. Gewicht und skeletale Muskelmasse veränderten sich relevant mit jeweils signifikanten Unterschieden zwischen den Trainingsgruppen (Gewicht: HI(I)T: -1,3±2,5%, vs. MICE: -2,8±2,7%,  $p=0.028$ ; skeletale Muskelmasse: HI(I)T: +0,5±2,3%, vs. MICE: -1,3±2,0%;  $p=0.002$ ).

### Endpunkte

Die Ausdauerleistungsfähigkeit im Stufentest bis zur subjektiven Ausbelastung stieg in beiden Trainingsgruppen hochsignifikant ( $p < 0.001$ ) in vergleichbarem Ausmaß ( $p=0.297$ ) an (HI(I)T: 27,2±17,7% vs. MICE: 29,0±19,4%) (Tab. 3).

Die Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme (HI(I)T: 14,7±9,3%,  $p=0.001$  vs. MICE: 7,9±7,4%,  $p=0.001$ ) lag im Gegensatz dazu in der HI(I)T-Gruppe signifikant höher ( $p=0.002$ ) als in der

MICE-Gruppe. Nach Adjustierung auf das Körpergewicht (s.o.) zeigte sich für die relative  $VO_{2max}$  indes kein signifikanter Zwischengruppenunterschied ( $p=0.121$ ) mehr (HI(I)T: 15,6±9,3%,  $p=0.001$  vs. MICE: 10,6±9,6%,  $p=0.001$ ) (Tab.3).

Die Laufökonomie entwickelte sich in den Trainingsgruppen signifikant unterschiedlich ( $p=0.003$ ), mit einer signifikanten Verschlechterung in der HI(I)T- (3,0±10,3%,  $p=0.148$ ) und einer signifikanten Verbesserung (-5,7±9,3%,  $p=0.005$ ) in der MICE-Gruppe (Tab.3). Der respiratorische Quotient (RQ) sank dabei in beiden Gruppen vergleichbar ( $p=0.413$ ) jeweils hochsignifikant ab (HI(I)T: 0,98 auf 0,91; MICE: 0,96 auf 0,90).

Somit kann die Hypothese, dass „HI(I)T“ und „MICE“ vergleichbar positive Effekte auf die Ausdauerleistungsfähigkeit untrainierter Männern ausüben, bestätigt werden. Auch unsere Vermutung, dass HI(I)T eher über die Veränderung der  $VO_{2max}$  („Maximierung“), MICE eher über die RE („Ökonomisierung“) auf die Ausdauerleistungsfähigkeit einwirken, wird bestätigt.

## DISKUSSION

Innovatives Moment der vorliegenden Arbeit war es, die grundsätzlichen Mechanismen der (Lauf-)Leistungsverbesserungen bei einem untrainierten Männerkollektiv zu überprüfen. Das Ergebnis der Studie bestätigt die unseres Wissens nie im direkten Vergleich überprüfte „Lehrbuchmeinung“ (u.a. (14,18,27)), dass hochintensive Ausdauerreize verstärkt Einfluss auf die „Maximierung“ des Systems, niedrig-moderat-intensive Reize eher Einfluss auf dessen „Ökonomisierung“ nehmen.

Vergleicht man unser Ergebnis mit der vorliegenden Literatur, so sollten zunächst einige Unterschiede berücksichtigt werden. (a) Im Vergleich zu den vorliegenden hochintensiven Intervallbelastungen im Bereich der Sprintausdauer (27) zeichnet sich unser Programm durch eine höhere Varianz der Belastungsdauer/Reizintensität zwischen 90 s und 12 min Intervalllänge (also im Bereich

der Kurzzeit – Mittelzeitausdauer (27)) sowie kontinuierlichen Dauerbelastungen im Bereich der aerob-anaeroben Schwelle aus. Insofern war unser HI(I)T-Protokoll zwar hochintensiv, aber kein reines Intervalltraining. Hintergrund dieser Vorgehensweise war die Vorgabe, ein praktikables und sicheres Lauftrainingsprogramm für Untrainierte mit dem Ziel zu realisieren, abschließend 10 km in  $\leq 1$  h laufen zu können. (b) Reizintensität und -volumen beider Programme wurden so gestaltet, dass die geleistete „Arbeit“ vergleichbar war. Faktisch wurden HI(I)T und MICE über das Volumen (in min) einer TE angeglichen, um eine vergleichbare Arbeit zu realisieren (Tab. 2). Obwohl die wesentliche Attraktivität des HIIT sicher in seiner Zeiteffizienz begründet liegt, halten wir eine vergleichbare „Arbeit“ für einen validen Vergleich unterschiedlicher „Reizintensität“ für notwendig. (c) Die vorliegenden vergleichbaren Untersuchungen sind meist sehr kurz (bspw. 2-3 Wochen: (4,10,19)), sodass Systeme mit langsamer Anpassungsgeschwindigkeit möglicherweise nicht voll adressiert werden. (4) Wir untersuchten den gesundheitsökonomisch hochrelevanten Bereich des Lauftrainings mit Untrainierten. Bei diesem Kollektiv ist es vorstellbar, dass in der Phase der initialen Anpassung jedes trainingswissenschaftlich fundierte Programm, unabhängig von der Reizintensität zu hohen positiven Effekten führt. Diese Einschätzung wird jedoch durch eine Meta-Analyse (11) zurückgewiesen, bei der untrainierte Personen mit Herzinsuffizienz signifikant höhere Verbesserungen der relativen  $VO_{2max}$  nach HIIT verglichen mit MICE-Training zeigen.

Vergleicht man nun unsere Untersuchung mit den analogen Interventionsstudien mit wenig oder Untrainierten, unabhängig davon ob ein Rad- oder Lauftraining absolviert wurde, so zeigen sich uneinheitliche Ergebnisse.

Mit Blick auf die Ausdauerleistungsfähigkeit per se bestätigen zunächst alle vorliegenden Studien (7,13,15,19) weitgehend unabhängig von einer „Adjustierung“ auf Arbeit/Energieverbrauch unser Ergebnis, dass HI(I)T und MICE-Protokolle vergleichbare Ergebnisse auf Parameter wie bspw. „time to exhaustion“, 10 km-Zeit oder „maximale Leistung im Stufentest“ haben. Die Testdauer der Untersuchungen liegen dabei vergleichbar unserem Test im Bereich der Langzeitausdauer I, bzw. knapp über diesem Bereich. Bezogen auf die  $VO_{2max}$ -Veränderungen bestätigen 3 (13,25,26), von 8 Untersuchungen (5,7,16,19), den vergleichsweise günstigeren Effekt eines HIIT-Trainingsprotokolls. Das Ergebnis ist wiederum unabhängig davon, ob die Protokolle bezüglich „Arbeit“ oder „Energieverbrauch“ vergleichbar gestaltet wurden (bspw. (7,13,26)) oder nicht (5,19,25). Auch bezüglich der Reizkomposition lassen sich keine gemeinsamen, für die Ergebnisse unmittelbar ursächlichen Parameter identifizieren.

Für die Veränderung der Arbeits- bzw. Laufökonomie erfasst mit Ausnahme einer Studie (16) keine weitere Untersuchung wesentliche Unterschiede zwischen HIIT und MICE-Protokollen (5,7,13,19). Interessant ist, dass zumindest bei Untrainierten auch Sprint-Intervalle mit sehr kurzer, maximaler Reizintensität (15 bzw. 30 s „all-out“) (4,13), im Gegensatz zu intensivem Kraft-/Power-/Sprungkrafttraining (bspw. (21-24)) keine positive Effekte auf die Arbeits- bzw. Laufökonomie zeigen, obwohl sich beide Trainingsformen trainingsphysiologisch doch relativ nahe sind.

Wesentliche Stärken unserer Untersuchung sind die (a) vergleichsweise (5,7,10,13,16,19,26) hohe Stichprobe und lange Interventionsdauer unserer Untersuchung, (b) die regelmäßige Kontrolle und Anpassung der Belastungsvorgaben über die Herzfrequenz, (c) das in den Trainingsalltag leicht und sicher transferierbare Trai-

ningsprotokoll, (d) das im Grundsatz kontrollierte, randomisierte Zwei-Gruppen Design, (e) die Erfassung relevanter Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit und ihrer Determinanten, (f) die konsequente Erfassung von Kovariaten (Medikation, Krankheiten, Ernährungsverhalten, Lebensstil, Training).

Besonderheiten und Limitationen unserer Studie sind: (a) das nicht durchgehende Parallelgruppen-Design unseres RCTs. Durch die zeitversetzte Durchführung der Trainingsprotokolle (Abb.1) wäre es möglich, dass jahreszeitliche Veränderungen der körperlichen Aktivität oder Ernährungsgewohnheiten unser Ergebnis beeinflussen. Die erhobenen Daten für diese Parameter lassen allerdings keine Änderung erkennen. (b) Neben  $VO_{2max}$  und RE wäre eine dezidierte Erfassung der anaeroben Kapazität als dritten wesentlichen Bestandteil der Ausdauerleistungsfähigkeit sinnvoll gewesen. (c) Die relativ hohe Drop-out Rate (20%) bedingt durch trainingsinduzierte Verletzungen und Beschwerden (vergleichbar in HI(I)T und MICE). (d) Die lediglich stichprobenartige Kontrolle der vorgegeben Reizintensität über das Auslesen der Teilnehmer-Pulsuhren. Insofern besteht die Möglichkeit, dass die Umsetzung der Reizintensität nicht immer protokollgemäß war. (e) Aus rein statistischer Sicht wäre die Anwendung des Intention-to-Treat-Prinzips unserem „Finisher“-Ansatz vorzuziehen.

### Danksagung

Dem Verein Netzwerk Knochengesundheit e.V. Erlangen und dem Institut für Sportwissenschaften der FAU danken wir für die Unterstützung.

### LITERATUR

1. ACSM: ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Lipincott, Williams and Wilkins 2000.
2. BUCHHEIT M, LAURSEN PB. High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle : Part II: Anaerobic Energy, Neuromuscular Load and Practical Applications. Sports Med. 2013;43:927-954. doi:10.1007/s40279-013-0066-5
3. BUCHHEIT M, LAURSEN PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. Sports Med. 2013;43:313-338. doi:10.1007/s40279-013-0029-x
4. BURGOMASTER KA, HEIGENHAUSER GJ, GIBALA MJ. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. J Appl Physiol. 2006;100:2041-2047. doi:10.1152/jappphysiol.01220.2005
5. BURGOMASTER KA, HOWARTH KR, PHILLIPS SM, RAKOBOWCHUK M, MACDONALD MJ, MCGEE SL, GIBALA MJ. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. J Physiol. 2008;586:151-160. doi:10.1113/jphysiol.2007.142109
6. DICKHUTH HH, HUONKER M, MÜNDEL T, DREXLER H, BERG A, KEUL J. Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletes and patients with left ventricular dysfunction. Bachl TG, Löllgen H. Advances in Ergometry. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1991, 173-179.
7. EDDY DO, SPARKS KL, ADELIZI DA. The effects of continuous and interval training in women and men. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1977;37:83-92. doi:10.1007/BF00421694
8. GIBALA MJ. High-intensity interval training: a time-efficient strategy for health promotion? Curr Sports Med Rep. 2007;6:211-213.
9. GIBALA MJ, LITTLE JP, MACDONALD MJ, HAWLEY JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. J Physiol. 2012;590:1077-1084. doi:10.1113/jphysiol.2011.224725

10. GIBALA MJ, LITTLE JP, VAN ESSEN M, WILKIN GP, BURGOMASTER KA, SAFDAR A, RAHA S, TARNOPOLSKY MA. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol.* 2006;575:901-911. doi:10.1113/jphysiol.2006.112094
11. HAYKOWSKY MJ, TIMMONS MP, KRUGER C, MCNEELY M, TAYLOR DA, CLARK AM. 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. doi:10.1016/j.amjcard.2013.01.303
12. HELGERUD J. Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1994;68:155-161. doi:10.1007/BF00244029
13. HELGERUD J, HOYDAL K, WANG E, KARLSEN T, BERG P, BJERKAAS M, SIMONSEN T, HELGESEN C, HJORTH N, BACH R, HOFF J. Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:665-671. doi:10.1249/mss.0b013e3180304570
14. HOLLMANN W, STRÜDER K. Sportmedizin. Schattauer, Stuttgart, 2009.
15. IAIA FM, HELLSTEN Y, NIELSEN JJ, FERNSTROM M, SAHLIN K, BANGSBO J. Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity despite a reduction in training volume. *J Appl Physiol* (1985) 106 (2009) 73-80.
16. IAIA FM, THOMASSEN M, KOLDING H, GUNNARSSON T, WENDELL J, ROSTGAARD T, NORDSBORG N, KRUSTRUP P, NYBO L, HELLSTEN Y, BANGSBO J. Reduced volume but increased training intensity elevates muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pump alpha1-subunit and NHE1 expression as well as short-term work capacity in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2008;294:R966-R974. doi:10.1152/ajpregu.00666.2007
17. KEMMLER W, WEINECK J, KALENDER WA, ENGELKE K. The effect of habitual physical activity, non-athletic exercise, muscle strength, and VO<sub>2</sub>max on bone mineral density is rather low in early postmenopausal osteopenic women. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2004;4:325-334.
18. LAURSEN PB. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20(Suppl 2):1-10. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x
19. MCKAY BR, PATERSON DH, KOWALCHUK JM: Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O<sub>2</sub> uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *J Appl Physiol* (1985) 107 (2009) 128-38.
20. MIDGLEY AW, MC NAUGHTON LR. Time at or near VO<sub>2</sub>max during continuous and intermittent running. A review with special reference to considerations for the optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near VO<sub>2</sub>max. *J Sports Med Phys Fitness.* 2006;46:1-14.
21. OSTERAS H, HELGERUD J, HOFF J. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2002;88:255-263. doi:10.1007/s00421-002-0717-y
22. PAAVOLAINEN L, HAKKINEN K, HAMALAINEN I, NUMMELA A, RUSKO H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol.* 1999;86:1527-1533.
23. SPURRS RW, MURPHY AJ, WATSFORD ML. The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89:1-7. doi:10.1007/s00421-002-0741-y
24. STOREN O, HELGERUD J, STOA EM, HOFF J. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40:1087-1092. doi:10.1249/MSS.0b013e318168da2f
25. TABATA I, NISHIMURA K, KOUZAKI M, HIRAI Y, OGITA F, MIYACHI M, YAMAMOTO K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:1327-1330. doi:10.1097/00005768-199610000-00018
26. 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. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.108.772822
27. WEINECK J. Optimales Training. Spitta-Verlag, Erlangen, 2007.

Korrespondenzadresse:  
Professor Dr. Wolfgang Kemmler  
Institut für Medizinische Physik  
Friedrich-Alexander Universität Erlangen  
Henkestraße 91  
91054 Erlangen  
E-Mail: wolfgang.kemmler@imp.uni-erlangen.de