

von Stengel S, Kemmler W

Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Trainingshäufigkeit und Risikofaktoren für metabolische und kardiale Erkrankungen

Dose-Response Effect of Exercise Frequency and Metabolic and Cardiac Risk Factors

Institut für Medizinische Physik, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

ZUSAMMENFASSUNG

Problemstellung: Die Trainingshäufigkeit ist ein entscheidender Belastungsparameter, der den Erfolg präventiver oder rehabilitativer Maßnahmen maßgeblich beeinflusst. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es im Rahmen eines ambulanten Gruppentrainings die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Trainingshäufigkeit und dem Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und metabolischem Syndrom zu erfassen. **Methoden:** Nach 12-jährigem intensiven körperlichen Kraft- und Ausdauertraining wurden die initial früh-postmenopausalen Frauen der Trainingsgruppe (TG) der EFOPS Studie retrospektiv in eine Gruppe mit hoher (hTH; ≥ 2 Trainingseinheiten (TE)/Woche, $n=28$) und eine Gruppe mit niedriger Trainingshäufigkeit (nTH; $1 \leq 2$ TE/Woche, $n=23$) aufgeteilt. Die passive EFOPS-Kontrollgruppe fungierte weiterhin als Kontrolle ($n=43$). Als primäre Endpunkte wurden das 10-Jahres Herz-Kreislauf-Risiko und der Metabolische-Syndrom-Index, als sekundärer Endpunkt das 10-Jahres Myokardinfarkt-Risiko definiert. **Ergebnisse:** Bezogen auf die primären Endpunkte Veränderung des „10-Jahres CHD-Risikos“ (hTh: $2,44 \pm 1,91\%$ vs. nTH: $2,83 \pm 2,33\%$, $p=0,22$) und „(Z-)Score metabolisches Syndrom“ (hTh: $0,44 \pm 1,02$ vs. nTH: $-0,40 \pm 1,06$, $p=0,92$) zeigten sich bei tendenziell etwas günstigeren Veränderungen für die hTH keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen mit unterschiedlicher Trainingshäufigkeit. Signifikante Unterschiede ($p \leq 0,002$) konnten allerdings zwischen nTH und der Kontrollgruppe (δ -CHD-Risiko: $5,41 \pm 3,35\%$; δ -MetS-Index: $1,61 \pm 1,88$) festgestellt werden. Für die Veränderung des Myokardinfarkt-Risikos (hTh: $1,76 \pm 1,19\%$ vs. nTH: $2,39 \pm 1,08\%$, $p=48$) zeigte sich eine vergleichbare Konstellation mit signifikanter Differenz ($p=0,008$) zur KG ($3,25 \pm 1,30\%$). **Diskussion:** Bei einem Multifunktionstraining mit vergleichsweise hoher Belastungsintensität scheinen die hier evaluierten Trainingshäufigkeiten gleichermaßen geeignet zu sein, positiven Einfluss auf metabolische und kardiale Risikofaktoren zu nehmen.

Schlüsselwörter: Körperliches Training, Dosis Wirkungs-Beziehung, Trainingshäufigkeit, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, metabolisches Syndrom.

SUMMARY

Introduction: The training frequency is an important parameter which is crucial for the effect of training. Aim of the present study was to determine the dose-response effect of training frequency in respect to risk for coronary heart disease (CHD) and metabolic syndrome in an ambulatory group exercise setting. **Methods:** After 12 years of intense strength and endurance exercise, the initially early postmenopausal women in the training group (TG) of the EFOPS study were retrospectively subdivided into one group with high (hTH; ≥ 2 sessions/week, $n=28$) and a second group with low training frequency (nTH; $1 \leq 2$ sessions/week, $n=23$). The physically inactive control group further served as control ($n=43$). The 10-year CHD risk and the metabolic syndrome index were defined as primary endpoints and the 10-year cardiac infarction risk as secondary endpoint. **Results:** Though more favourable for hTH, no significant group differences were detected with respect to changes in 10-year CHD risk (hTh: $2,44 \pm 1,91\%$ vs. nTH: $2,83 \pm 2,33\%$, $p=0,22$) and metabolic syndrome (Z-)score (hTh: $0,44 \pm 1,02$ vs. nTH: $-0,40 \pm 1,06$, $p=0,92$). Significant differences ($p \leq 0,002$) were found between nTH and control group (δ -CHD-Risk: $5,41 \pm 3,35\%$; δ -MetS-Index: $1,61 \pm 1,88$). Results for changes in 10-year cardiac infarction risk were similar (hTh: $1,76 \pm 1,19\%$ vs. nTH: $2,39 \pm 1,08\%$, $p=48$) with significant differences ($p=0,008$) compared to control group ($3,25 \pm 1,30\%$). **Conclusion:** In a training regimen with relatively high intensity, both evaluated training frequencies have the same potential to positively impact metabolic and cardiac risk factors.

Key Words: Exercise, metabolic syndrome, menopause, long-term effects, cardiovascular disease.

EINLEITUNG

Koronare Herzerkrankungen und die akute Komplikation des Myokardinfarkts spielen innerhalb der Herz-Kreislauf-Erkrankungen eine zentrale Rolle (12). Dass körperliches Training das Risiko für kardiale und metabolische Erkrankungen signifikant positiv beeinflussen kann, wurde in der Vergangenheit von einer Vielzahl von Untersuchungen für unterschiedliche Kohorten belegt

(1,2,3,14). Neben der Auswahl geeigneter Trainingsinhalte (20) ist die Gestaltung der Belastungsnormative, insbesondere der Trai-

accepted: February 2013
published online: March 2013
DOI: 10.5960/dzsm.2012.059

von Stengel S, Kemmler W: Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Trainingshäufigkeit und Risikofaktoren für metabolische und kardiale Erkrankungen. Dtsch Z Sportmed 63 (2012) 83-89.

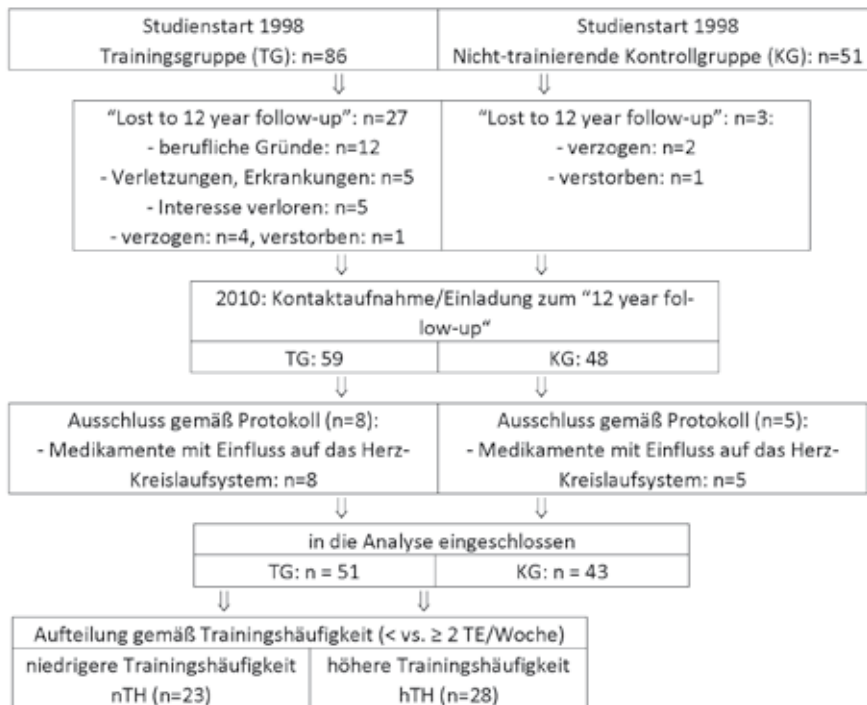


Abbildung 1: Verkürztes Flussdiagramm der Teilnehmer der EFOPS-Studie unter Berücksichtigung der retrospektiven Aufteilung nach der Trainingshäufigkeit.

ningsintensität und -häufigkeit, entscheidend für den Erfolg von Interventionen. Berücksichtigt man in diesem Zusammenhang die Rahmenbedingungen ambulanten Gruppentrainings als die für Deutschland typische Organisationsform präventiven und rehabilitativen Gesundheitsports, so unterliegt die Trainingsgestaltung v.a. in Bezug auf die Trainingshäufigkeit einigen Einschränkungen. Knappe finanzielle, räumliche und personelle Ressourcen der Anbieter (bspw. Herzgruppen) und eine oft geringe Bereitschaft zu häufigem Sporttreiben in unserer körperlich überwiegend inaktiven Gesellschaft (13) limitieren die in der Praxis umsetzbare Trainingshäufigkeit. Insofern wäre es wichtig, zuverlässige Daten über die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen in der Praxis realisierbaren Trainingshäufigkeiten und metabolischen und kardialen Risikofaktoren zu gewinnen um auf dieser Basis Trainingsempfehlungen geben zu können.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, den Einfluss der Trainingshäufigkeit bei einem multimodalen Training mit vergleichsweise hoher Reizintensität auf Herz-Kreislauf-Risikofaktoren zu evaluieren. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurden die Längsschnittdaten (12-Jahres-Daten) der konsequent überwachten und angeleiteten Erlanger Fitness und Osteoporose-Präventions Studie (EFOPS) analysiert (10).

Unsere primäre Hypothese ist, dass eine langfristig und überdauernd durchgeführte multimodale Trainingsmaßnahme mit hoher Trainingshäufigkeit (2-3,0 TE/Woche) signifikant günstigere Veränderungen metabolischer und kardialer Risikofaktoren-Indices zeigt, als dasselbe Training mit niedriger-moderater Trainingshäufigkeit ($1 \leq 2$ TE/Woche). Unsere sekundäre Hypothese ist, dass eine Intervention mit niedriger Trainingshäufigkeit signifikant günstigere Effekte verglichen mit einer nicht-trainierenden Kontrollgruppe zeigt.

MATERIAL UND METHODE

Die vorliegende Untersuchung basiert auf den 12-Jahres-Daten der „Erlanger Fitness Osteoporose Präventions Studie“ (EFOPS), einer kontrollierten Langzeituntersuchung mit post-menopausalen Frauen. Nach intensiver Aufklärung über Nutzen und Risiken der Untersuchungen gaben alle Frauen eine schriftliche Einwilligungserklärung ab. Die Untersuchung wurde von der Ethikkommission der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (Ethik Anträge 905, 4209) genehmigt und ist unter www.clinicaltrials.gov, NCT01177761 registriert.

Endpunkte

Primäre Endpunkte:

- Framingham basiertes 10-Jahres Herz-Kreislauf-Risiko (10-year CHD-risk) nach Wilson et al. (24).
- Metabolisches Syndrom Index nach Johnson et al. (4) Sekundärer Endpunkt:
- Framingham basiertes 10-Jahres Myokard-Infarkt/Herztod-Risiko (hard 10-year CHD-risk) nach NCEP ATP III (15).

Stichprobe

Abb.1 zeigt ein verkürztes Flussdiagramm der Teilnehmerentwicklung über den 12-jährigen Studienzeitraum. Eine ausführlichere Übersicht wurde bereits publiziert (6, 10).

Nach Anwendung der Ausschlusskriterien „Einnahme von Medikamenten und Erkrankungen mit Wirkung auf den Knochenmetabolismus“, „sekundäre Osteoporose“, „entzündliche Erkrankungen“, „Herz-Kreislauf-Erkrankungen“ und „sehr geringe körperliche Leistungsfähigkeit“ (< 75 Watt auf dem Fahrradergometer), wurden initial insgesamt 137 früh-postmenopausale (1-8 Jahre post) Frauen mit Osteopenie gemäß WHO ($-1 \text{ SD} > \text{BMD-T-Score} > -2,5 \text{ SD}$) eingeschlossen. Von den ursprünglichen 86 Frauen die sich für das Trainingsprogramm entschieden und den 51 Frauen welche der

nicht-trainierenden Kontrollgruppe (KG) beitraten, konnten nach 12-jähriger Studiendauer 59 Teilnehmerinnen der Trainingsgruppe (TG) und 48 Teilnehmerinnen der KG untersucht werden. Gemäß Protokoll wurden 13 Personen (TG: n=8 vs. KG: n=5) mit medikamentöser Therapie des Herz-Kreislauf-Systems ausgeschlossen. Die 51 verbleibenden Teilnehmerinnen der TG wurden retrospektiv gemäß der Trainingshäufigkeit (<2TE/Wo. vs. ≥2TE/Wo.) in eine Gruppe mit niedriger-moderater Trainingshäufigkeit (nTH: n=23) sowie eine Gruppe mit höherer Trainingshäufigkeit (hTH: n=28) aufgeteilt. Tab.1 zeigt die initialen Charakteristika dieser Gruppen. Für die Eingangswerte konnten keine signifikanten Zwischengruppenunterschiede erfasst werden (Tab. 1).

Interventionsmaßnahme

Das Belastungsprotokoll der Studie sah zwei gemeinsame konsequent angeleitete und überwachte TE (60 min) sowie zwei Heim-TE/Woche (20-25 min) vor. Trainingspausen (Feiertage, etc.) mit einberechnet betrug die angestrebte Trainingshäufigkeit ca. 200TE/Jahr oder 3,85TE/Woche. Häufigkeit und Vollständigkeit der Trainingsdurchführung wurde überdauernd und konsequent über den gesamten 12-jährigen Trainingszeitraum erfasst.

Eine Trainingseinheit gliederte sich in drei Hauptbestandteile:

1. Eine 20-minütige durchgehende Ausdauersequenz überwiegend mit Low/High-Impact-Aerobic Inhalten bei 65-85% Hfmax.
2. Eine 3-5 minütige Sprungsequenz, die aus 4x15 unterschiedlichen multidirektionalen Sprüngen bestand.
3. Eine Kraftsequenz mit je einer geräteabhängigen (Technogym, Gambettola, Italien) und einer geräteunabhängigen TE/Woche als Schwerpunkt des Trainingsprogrammes.

Das Training an Geräten bestand aus 10 bzw. 13 Übungen (intensitäts- vs. umfangsorientierten Phasen) und beanspruchte alle großen Muskelgruppen. Das geräteunabhängige Krafttraining gliederte sich in ein dynamisches Training mit 3-4 Übungen für große Muskelgruppen (1-4 Sätze/Übung) unter Zusatzbelastung (Handgeräte, Hanteln, Wasserkästen, Gewichtswesten) im Zirkelmodus sowie eine funktionsgymnastisch/-isometrische Sequenz mit 12-15 Übungen, 1-2 Sätze unter maximaler isometrischer Anspannung. Bezogen auf die dynamische Komponente wurden im Rahmen einer Blockperiodisierung drei 12 Wochenzyklen/Jahr mit hoher Belastungsintensität (70-92,5% 1RM) und/oder „explosiver Bewegungsausführung“ durchgeführt wobei nicht auf eine komplette Ausbelastung der Teilnehmer abgezielt wurde. In 4-6 wöchigen Übergangsphasen wurde ein umfangsorientiertes Krafttraining mit insgesamt höherer Satzanzahl, Wiederholungszahl und Reizdichte bei geringerer Reizintensität (50-55% 1RM) absolviert (8).

Das regelmäßige wechselnde 20-25 minütige Heim-Trainingsprogramm begann mit verschiedenen Seilsprungsvarianten (4x20 Wdh.) und sah als Schwerpunkt ein Muskeltraining mit ca. 5-8 funktionsgymnastischen/isometrischen Übungen (1-3 Sätze) sowie 2-3 Übungen (1-2 Sätze, 15-20 Wdh.) mit elastischen Bändern vor.

Messungen

Die Messungen wurden bezogen auf das Testpersonal „verblindet“ durchgeführt, d.h. der Gruppenstatus der Teilnehmerinnen war nicht bekannt. Alle hier aufgeführten Messungen

Tabelle 1: Basale Charakteristika der Trainings- und Kontrollgruppen. *über Fragebögen erfragt; #Bioimpedanzanalyse; †Laufstufentest bis zur Ausbelastung; ‡5-tägiges Ernährungsprotokollen (Auswertung mittels Prodi-4.5/03, Wissenschaftlicher Verlag, Freiburg); §gemäß NCEP-ATP III.

Variable	hTH-Gruppe (n=28)	nTH-Gruppe (n=23)	KG (n=43)
Lebensalter [Jahre]*	55,6±3,1	54,2±3,9	55,8±3,2
Body Mass Index [kg/m ²]	25,1±3,7	24,7±3,1	25,6±3,6
Körperfett [%]#	35,8±5,3	34,5±4,7	35,2±5,8
Menarchealter [Jahre]*	13,1±1,5	13,1±1,3	13,3±1,6
Menopausenalter [Jahre]*	50,4±3,1	50,8±3,0	50,6±3,3
Anzahl Schwangerschaften [n]*	2,0±1,4	2,2±1,3	1,9±1,3
Trainingsumfang [min/Woche]*	91±85	86±81	75±66
Grip-strength [kg]	25,3±3,9	25,3±3,6	24,9±3,4
VO _{2peak} [ml/min/kg]†	25,0±6,2	25,7±6,4	25,3±5,9
Energiezufuhr [MJ/d]‡	7,55±1,50	7,92±1,33	7,69±1,85
Fettzufuhr [% von Energieaufnahme]‡	36±9	34±7	36±7
Diabetiker [%]*	11	4	12
Raucher [%]*	28	26	28
Prävalenz Metabolisches Syndrom [%]§	11	13	12

wurden zu den genannten Messzeitpunkten von den gleichen Untersuchern durchgeführt.

10-Jahres Risiko für koronare Herzerkrankung; 10-Jahres Myocard Infarkt-Risiko

Das 10-Jahres CHD-Risiko wurde über den Framingham-Score nach Wilson et al. (24) bestimmt. Der auf Daten der Framingham Studie basierende Risikokalkulator berechnet die Wahrscheinlichkeit (in Prozent) in den nächsten zehn Jahren eine koronare Herzerkrankung zu entwickeln. Die Risikofaktoren, die bei diesem Modell Berücksichtigung finden sind: Alter, LDL-Cholesterin, HDL-Cholesterin, Blutdruck (Kategorien), Diabetes und Rauchen.

Parallel dazu berechnet der ebenfalls auf Framingham-Daten basierende 10-Jahres Risikoscore des National Cholesterol Education Programs (15) für schwere KHK Ereignisse (Myokardinfarkt, koronarer Herztod) das Risiko aus den Parametern Alter, Gesamt-Cholesterin, HDL-Cholesterin, systolischer Blutdruck, Behandlung hohen Blutdrucks und Rauchen.

Zur Berechnung des jeweiligen Risikos werden die entsprechenden Risikofaktoren jeweils über Risikotabellen in Punkte transformiert und die Punktesumme dem entsprechenden Risiko-Prozentwert zugeordnet.

Metabolisches Syndrom (MetS)

Ein „Metabolisches Syndrom Score“ wurde über einen kontinuierlichen Z-Score gemäß den Vorgaben von Johnson et al. (4) für basale und 12-Jahres-Kontrolldaten berechnet. Angelehnt am NCEP ATP III-Kriterium (HDL-C; Triglyzeride, Nüchtern-glucose, mittlerer arterieller Blutdruck (MAP), Taillenumfang) des Metabolischen Syndroms (15) wurden der Z-Score für jeden Teilnehmer folgendermaßen berechnet: [(50-HDL)/SD HDL] + [(Triglyzeride-150)/SD Triglyzeride] + [(Nüchtern-glucose-100)/SD Glucose] + [(Taillenumfang-100)/SD Taillenumfang] + [(MAP-100)/SD MAP].

Anthropometrie

Körpergewicht, Umfangs- und Längenwerte wurden über entsprechende Messungen an geeichten Geräten ermittelt. Der Taillenumfang wurde immer an der schmalsten Stelle zwischen kaudaler Rippe und Hüftkamm erfasst. Mittels Bioimpedanzmethode (Tanita BF 305, Tokio, Japan) wurde zusätzlich der Körperfettgehalt ermittelt.

Blutparameter

Die Serumkonzentration von Blutfetten, Lipoproteinen und Glucose wurden durch Testkits der Firma Olympus Diagnostica GmbH (Hamburg, Deutschland) erfasst. Die Blutentnahme erfolgte nüchtern jeweils zwischen 7:00 und 9:00 Uhr durch Venenpunktion in der Armbeuge. Die Blutdruckmessung des Probandinnen erfolgte immer zur selben Uhrzeit (± 60 min) nach 5-minütigem Sitzen mittels eines automatischen Blutdruckmessgerätes (Bosco, Bosch, Jungingen, Deutschland).

Statistische Analyse

Die Ergebnisse der Studie basieren auf einer „per Protokoll“ Analyse unter Ausschluss von Personen bei denen während des Studienzeitraums über Fragebogen oder Befragung eine medikamentöse Therapie des Herz-Kreislauf-Systems erfasst wurde.

Um den Effekt unserer Intervention möglichst präzise zu erfassen, berechneten wir einen kontinuierlichen Gesamtindex für das Metabolische Syndrom auf der Basis von Z-Werten (s.o.) gemäß den Vorgaben von Johnson et al. (4), sodass alle drei Endpunkte in intervallskaliert Form vorliegen.

Gemäß unseren Hypothesen erfolgt ein dezidierter Vergleich von häufig trainierender Gruppe (hTH) vs. weniger häufig trainierender Gruppe (nTH) sowie weniger häufig trainierender Gruppe (nTH) vs. nicht trainierende Kontrollgruppe. Bei Vorliegen einer Normalverteilung wurden Mittelwertsunterschiede innerhalb der Gruppen zwischen den beiden Zeitpunkten mittels abhängigen T-Tests sowie Zwischengruppenunterschiede mittels eines gemischten linearen Modells berechnet. Bei fehlender Normalverteilung wurde der Wilcoxon-Rangsummentest bzw. der Mann-Whitney-Test verwendet. Lediglich innerhalb des Vergleichs der basalen und

12-Jahres Charakteristik erfolgte ein statistischer Vergleich aller drei Gruppe mittels ANOVA.

Ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wird als signifikant angesehen. Zur Berechnung von Effektstärken (ES) wurde der Test von Cohen verwendet (Effektstärke (ES) $d \leq 0,2$: „gering“; $d > 0,2$ bis $< 0,8$ „moderat“; $d \geq 0,8$ „hoch“).

ERGEBNISSE

Die durchschnittliche Trainingshäufigkeit über 12 Jahre lag in der hTH-Gruppe bei $2,44 \pm 0,34$ (Minimum 2,04-Maximum 3,02) TE/Woche und in der nTH-Gruppe bei durchschnittlich 1,67 (1,35-1,96) TE/Woche. Für vier Personen der hTH-Gruppe und sieben Personen der nTH-Gruppe wurden während der Interventionsphase Trainingsunterbrechungen von mehr als sechs Monaten (6-18 Monate) aufgrund von Erkrankungen ($n=6$), Verletzungen ($n=3$) oder/und Auslandsaufenthalten ($n=3$) protokolliert. In beiden Gruppen nahm der Umfang des körperlichen Trainings signifikant linear ab (hTH -6%; nTH -11%).

Bezogen auf (über Fragebogen erfasste) Parameter, die möglicherweise Einfluss auf unser Ergebnis ausüben konnten (bspw. Ernährung, Medikamente, körperliche Aktivität), wurden weder basal noch zur 12-Jahres-Kontrollmessung signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (ANOVA) erfasst.

Primäre Hypothese

Nach 12-jährigem Interventionszeitraum veränderte sich das „10-Jahres CHD-Risiko“ hauptsächlich wegen des zunehmenden Lebensalters in den Trainingsgruppen signifikant negativ ($p=0,001$). Parallel dazu zeigten beide Trainingsgruppen eine grenzwertig signifikante Verbesserung des „metabolisches Syndrom-(Z)-Score“ ($p=0,033-0,050$). Zwischen der häufig trainierenden Gruppe (hTH) und der weniger häufig trainierenden Gruppe (nTH) konnten bei tendenziell etwas günstigerer Entwicklung innerhalb der hTH-Gruppe keine signifikanten Zwischengruppenunterschiede erfasst werden (Tab.2). Das 10-Jahres Risiko für schwere KHK Ereignisse

Tabelle 2: Veränderungen der primären und sekundären Endpunkte in der häufig vs. der weniger häufig trainierenden Gruppe. #Negative Werte der Veränderung des Z-Scores für das Metabolische Syndrom repräsentieren eine Reduktion des Risikos.

	hTH-Gruppe MV (SD) n=28	nTH-Gruppe MV (SD) n=23	Absolute Differenz MV (95% CI)	p	„Effektstärke“ (d)
10-Jahres CHD-Risiko					
basal	8,57 \pm 2,86	8,17 \pm 3,76	-----	-----	-----
12-Jahres Kontrolle	11,07 \pm 2,72	11,00 \pm 3,68	-----	-----	-----
Differenz	2,50 \pm 1,91	2,83 \pm 2,32	0,33 (-0,87 bis 1,52)	0,586	0,16
Metabolisches Syndrom Index#					
basal	-2,85 \pm 2,40	-1,92 \pm 2,39	-----	-----	-----
12-Jahres Kontrolle	-3,30 \pm 2,67	-2,37 \pm 3,01	-----	-----	-----
Differenz	-0,45 \pm 1,02	-0,45 \pm 1,06	0,01 (-0,44 bis 0,50)	0,955	0
10-Jahres Myocard-Infarkt Risiko, Herztod					
basal	1,75 \pm 1,08	1,83 \pm 1,44	-----	-----	-----
12-Jahres Kontrolle	3,53 \pm 0,96	4,22 \pm 1,41	-----	-----	-----
Differenz	1,79 \pm 1,20	2,39 \pm 1,07	0,61 (-0,41 bis 1,25)	0,066	0,53

	nTH MV (SD) n=23	KG MV (SD) n=43	Absolute Differenz MV (95% CI)	p	„Effektstärke“ (d)
10-Jahres CHD-Risiko					
basal	8,17 ± 3,76	7,42 ± 2,58	----	----	----
12-Jahres Kontrolle	11,00 ± 3,68	12,81 ± 3,08	----	----	----
Differenz	2,83 ± 2,32	5,40 ± 3,30	2,57 (0,98 bis 4,15)	0,002	0,9
Metabolisches Syndrom Index[#]					
basal	-1,92 ± 2,39	-3,65 ± 2,84	----	----	----
12-Jahres Kontrolle	-2,37 ± 3,01	-2,04 ± 3,77	----	----	----
Differenz	-0,45 ± 1,06	1,61 ± 1,87	2,01 (1,16 bis 2,86)	0,001	1,36
10-Jahres Myocardinfarkt Risiko					
basal	1,83 ± 1,44	1,60 ± 1,26	----	----	----
12-Jahres Kontrolle	4,22 ± 1,41	4,86 ± 2,01	----	----	----
Differenz	2,39 ± 1,08	3,26 ± 1,31	0,87 (0,23 bis 1,50)	0,009	0,72

Tabelle 3: Veränderungen der primären und sekundären Endpunkte in der der weniger häufig trainierenden Gruppe vs. der Kontrollgruppe. [#]Negative Werte der Veränderung des Z-Scores für das Metabolische Syndrom repräsentieren eine Reduktion des Risikoscores.

(Myokard-Infarkt, Herztod) veränderte sich bei einer tendenziell günstigeren Entwicklung innerhalb der häufig trainierenden Gruppe primär aufgrund des zunehmenden Lebensalters in beiden Trainingsgruppen signifikant negativ (je p=0,001) (Tab.2).

Somit wird die Hypothese, dass eine mit hoher Trainingshäufigkeit (2-3,0 TE/Woche) durchgeführte intensitätsorientierte Trainingsmaßnahme signifikant günstigere Veränderungen metabolischer und kardialer Risikofaktoren-Indices zeigt, als dasselbe Training mit geringerer Trainingshäufigkeit (1-<2 TE/Woche) verworfen.

Sekundäre Hypothese

„10-Jahres CHD-Risiko“ und „metabolisches Syndrom Score“ veränderten sich in der Kontrollgruppe gleichermaßen signifikant negativ (je p=0,001). Zwischen der Kontrollgruppe und der weniger häufig trainierenden Gruppe (nTH) konnten für beide primäre Endpunkte signifikante Zwischengruppenunterschiede (je p=0,001) erfasst werden (Tab.3). Der sekundäre Endpunkt „10-Jahres Risiko für Myokard-Infarkt oder Herztod“ erhöhte sich der Kontrollgruppe signifikant (je p=0,001) und zeigte eine signifikante Differenz zur nTH (p=0,009) (Tab.3).

Somit kann die Hypothese, dass eine mit niedriger Trainingshäufigkeit (1-<2,0 TE/Woche) durchgeführte intensitätsorientierte Trainingsmaßnahme signifikant günstigere Veränderungen metabolischer und kardialer Risikofaktoren-Indices verglichen mit einer nicht-trainierenden Kontrollgruppe zeigt, angenommen werden.

Zugrunde liegende Risikofaktoren

Da die vorgelegten Scores auf mehreren klinischen Parametern basieren, wäre es möglich, dass verschiedene Trainingshäufigkeiten auf die Parameter auf unterschiedliche Weise wirken und in Sinne von „Verrechnungseffekten“ trotz vergleichbarer Effekte niedriger vs. hoher Trainingshäufigkeit auf die kumulierten Scores, Zwischengruppenunterschiede für Einzelparameter vorliegen. Tab.4 zeigt die Veränderungen für diese Einzelparameter in den Gruppen. Auch bezüglich der nicht in Tab.4 aufgelisteten dichotom skalierten Parameter (Rauchen, Diabetesstatus) wurden keine Zwischengruppenunterschiede erfasst.

Zusammenfassend konnte lediglich für das Gesamtcholesterin ein signifikanter Unterschied zugunsten der häufiger trainierenden Gruppe nachgewiesen werden.

DISKUSSION

Die Erfassung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen („dose-response-effects“) oder einer Mindestdosis zur Generierung signifikanter Effekte („minimum effective dose“) ist im Handlungsfeld „körperliches Training und Gesundheit“ eine zentrale Fragestellungen. Innerhalb der Komposition der Belastungsnormative erscheint uns aufgrund knapper finanzieller, räumlicher und finanzieller Ressourcen der Anbieter und geringer Sportpartizipationsraten unserer älteren Bevölkerung (21) die Ableitung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen bezüglich der Trainingshäufigkeit von besonderer Relevanz.

Die vorliegende Studie untersuchte daher die Effekte eines intensitätsbetonten Trainings mit unterschiedlicher Trainingshäufigkeit, die im realistischen Bereich des für Deutschland typischen institutionalisierten Gesundheitssports im angeleiteten Gruppenrahmen liegen. Die Vorgabe einer relativ hohen Intensität ist für die Interpretation der Ergebnisse bedeutend, da die Belastungsparameter interagieren (23). Somit ist zu erwarten, dass angesichts der intensitätsorientierten Ausrichtung des vorliegenden Trainingsprotokolls ein relativ niedriger Trainingsumfang respektive eine niedrigere Trainingshäufigkeit ausreicht, um die Reizschwelle zu überschreiten (22).

Tatsächlich zeigt unsere Studie, dass die Effekte eine Maßnahme mit einer Trainingshäufigkeit von lediglich >1,0 bis <2,0 TE/Wo. sich statistisch nicht signifikant von den Effekten eines häufigeren Trainings (>2,0-3,0 TE/Wo) unterscheiden wobei sich alle erhobenen Risiko-Scores signifikant von einer nicht-trainierenden Kontrollgruppe unterscheiden. Vor dem Hintergrund der konträren Ergebnisse einer vergleichbaren Analyse (7,9) mit demselben Probandengut und dem primären Endpunkt „Knochendichte“ (BMD), konnte dieses Ergebnis nicht zwingend erwartet werden. Die genannte Untersuchung (9) zeigte bei identischer Kategorisierung bzgl. Trainingshäufigkeit signifikante Zwischengruppenunterschiede für die Knochendichteentwicklung an LWS und Schenkelhals zugunsten der häufig trainierenden Gruppe und nahezu identische, signifikante BMD-Reduktionen bei der wenig trainierenden Gruppe und der Kontrollgruppe. Studienübergreifend zeigt sich somit, dass unterschiedliche Organsysteme offensichtlich unterschiedliche Reizschwellen aufweisen. Während die Gruppe mit einer Trainingshäufigkeit von weniger als 2 TE/Woche im metabo-

lich/kardialen Bereich profitierte, war das Training bezüglich des Knochendichteerhalts ineffektiv (7,9).

Während sich das „10-Jahres CHD-Risiko“ in den Trainingsgruppen signifikant negativ entwickelte, war eine Verbesserung des „metabolisches Syndrom-(Z)-Score“ zu beobachten, was daraus resultiert, dass beim Letzteren das Lebensalter bei der Berechnung nicht mit berücksichtigt wird. Bei der Scoreberechnung des „10-Jahres CHD-Risiko“ trug das Alter zu Erhöhung des Risikos um ca. 3 Prozentpunkte bei, was in etwa der Risikoerhöhung in den Trainingsgruppen insgesamt entspricht. Demnach blieb das „altersbereinigte“ Risikoprofil in beiden Trainingsgruppen konstant, was äußerst positiv zu bewerten ist.

Da die vorliegende Untersuchung aufgrund der besonderen Relevanz innerhalb des Settings ambulanter Bewegungsgruppen in Deutschland die Trainingshäufigkeit fokussiert (im Rahmen dieses Settings beträgt die Trainingsdauer relativ einheitlich 60 min/TE.; demnach ist die Trainingshäufigkeit der Parameter, der das Volumen bestimmt), ist ein Vergleich mit meist ausschließlich auf den Trainingsumfang (Häufigkeit x Dauer in min/Wo.) und/oder Energieverbrauch (METs/Wo.) abzielenden internationalen Literatur (16,19) nur eingeschränkt möglich. Parallel dazu existiert zwar eine Vielzahl von Studien welche die Dosis-Wirkungs-Beziehungen im Bereich körperliche Aktivität crosssectional oder prospektiv untersuchen (11,17,19), entsprechende kontrollierte „Trainingsstudien“ die über einzelne CHD-Risikofaktoren hinaus übergreifende metabolisch/kardiale Risiko-Scores berücksichtigen, werden weit weniger häufig publiziert. Weiterhin limitiert die vorherrschende Anwendung isolierter Ausdauertrainingsprotokolle und die geringe Interventionsdauer (meist 3-6 Monate) anderer Studien die Vergleichbarkeit mit unserer Untersuchung.

Ein entsprechend vorsichtig zu interpretierender Vergleich unser Daten mit einer Untersuchung von Johnson et al. (4), dessen Berechnung des MetS-Z-Scores von uns übernommen wurde, zeigt bezogen auf beide Fragestellung diametral unterschiedliche Ergebnisse. So konnten die Autoren nach 6 monatigem Ausdauertraining („Walking“ bei 65-80% VO_{2peak}) mit übergewichtigen Frauen (40-65 Jahre; BMI: 25-35 kg/m², Prävalenz MetS: 34%) signifikante Unterschiede des δ -MetS-Z-Scores zwischen einer Trainingsgruppe mit hohem Trainingsumfang (hTH: 175 min/Wo; 3,7 TE/Wo.) verglichen mit einem niedrigeren Trainingsumfang (nTH: 114 min/Wo.; 3 TE/Wo.) nachweisen. Während die

hTH-Gruppe signifikante günstigere Werte verglichen mit der KG zeigte, lag die Effektivität der nTH-Gruppe tendenziell sogar unter derjenigen der nicht-trainierenden Kontrollgruppe. Diese Ineffektivität niedriger Belastungsumfänge zeigte sich in der Studie bei einem korrespondierenden Männerkollektiv im Übrigen nicht. Unterstützt werden die Ergebnisse hingegen von Keller et al. (5) und Ready et al. (18), die Walking-Ausdauerprotokolle über 24 Wochen mit relativ niedriger Reizhöhe ($\approx 60\%$ HFmax bzw. 60% VO_{2peak}) durchführten.

Die Autoren untersuchten ebenfalls den Effekt unterschiedlicher Trainingshäufigkeiten (3 vs. 5 TE à 30 (5) bzw. à 60 min/Wo. (18)) auf CHD-Risikofaktoren bei adipösen sowie normal-/leicht übergewichtigen Frauen ((5): 18-45 Jahre; (18): > 50 Jahre). Zusammenfassend zeigten beide Untersuchungen über die unterschiedlichen CHD/MetS-Risikofaktoren hinweg keine günstigeren Effekte einer höheren Trainingshäufigkeit.

Die vorliegende Studie besitzt folgende methodische Stärken:

1. Ein langfristig durchgeführtes konsequent überwacht und angeleitetes „state of the art“ Trainingsprotokoll. Obgleich eine dergestalt lange Interventionsdauer zur Evaluierung der vorliegenden Fragestellung sicher nicht nötig war, ist im Gegensatz zu den meisten derzeitigen Untersuchungen im Bereich von 3-6 Monate sichergestellt, dass die gegebene Trainingshäufigkeit nicht lediglich in der initialen Phase der Anpassung des Organismus effektiv ist, sondern überdauernd wirkt.
2. Die Berücksichtigung der tatsächlichen Trainingshäufigkeit über 12 Jahre bei der Berechnung.
3. Das Setting der Intervention im Rahmen einer ambulanten Rehabilitationssportgruppe im Sportverein gemäß § 44 SGB IX.
4. Die themenrelevante und homogene Stichprobe postmenopausaler Frauen.
5. Die überdauernde Verwendung derselben Messmethodik und die Berechnung übergreifender metabolischer und kardialer Risikoscores.
6. Die konsequente Überwachung von Variablen (Ernährung, körperliche Aktivität, Sporttreiben), die unser Ergebnis beeinflussen konnten.
7. Eine adäquat hohe statistische „Power“.
8. Die Möglichkeit des Vergleichs mit einer nicht-trainierenden KG.
9. Die hohe Akzeptanz der Intervention durch die Teilnehmer/Mitglieder (hohe Bindung an das Sportprogramm durch ver-

Tabelle 4: Veränderungen von Einzelparameter der vorgelegten Risikoscores in der häufig trainierenden Gruppe (hTH) vs. der weniger häufig trainierenden Gruppe (nTH).

Parameter	hTH MV (SD) n=28	nTH MV (SD) n=23	Absolute Differenz MV (95% CI)	p	„Effektstärke“ (d)
Taillenumfang [cm]	6,08 ± 5,48	8,53 ± 5,20	2,45 (-5,46 bis 0,56)	0,111	0,46
RR-MAP [mmHg]	-2,21 ± 5,41	-4,45 ± 4,51	2,26 (-5,10 bis 0,58)	0,117	0,45
Glucose [mg/dl]	-3,78 ± 5,92	-2,00 ± 6,76	1,78 (-5,40 bis 1,84)	0,327	0,28
Triglyzeride [mg/dl]	-0,39 ± 22,00	0,07 ± 23,57	0,46 (-13,4 bis 12,5)	0,943	0,02
Gesamtcholesterin [mg/dl]	2,78 ± 23,33	17,52 ± 17,42	15,73 (3,9 bis 27,5)	0,008	0,72
HDL-Cholesterin [mg/dl]	7,01 ± 7,75	7,83 ± 7,33	0,82 (-3,14 bis 4,80)	0,678	0,11

gleichsweise geringe Drop-out- und hohe Anwesenheitsraten des Gesamtkollektivs).

Neben diesen Stärken dürfen zur Interpretation der Daten die Schwachstellen der Untersuchung nicht unerwähnt bleiben:

1. Obwohl keinerlei entsprechender Druck auf die Teilnehmer ausgeübt wurde, könnten z.T. Durchführungsraten für das nicht überwachte Heimprogramm „im Sinne der Erwünschtheit“ angegeben worden sein.
2. Aus rein statistischer Sicht wären eine a priori Randomisierung in Gruppen mit unterschiedlicher Trainingshäufigkeit sowie eine Intention-to-Treat Analyse die Methoden der Wahl. Fakt ist allerdings, dass eine randomisierte Gruppeneinteilung mit ITT-Analyse ohne Berücksichtigung der tatsächlichen, nur retrospektiv valide zu erfassenden, Trainingshäufigkeit (9) durch die meist nicht protokollkonforme „Compliance“ der Teilnehmer zu einer massiven Verzerrung der Ergebnisse führt.
3. Zu Studienbeginn erfolgte keine randomisierte Zuweisung der Probanden in Trainings- und Kontrollgruppe. Diese Vorgehensweise ist allerdings sicherlich als Voraussetzung für unsere guten Bindungswerten über 12 Jahren zu sehen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei einem intensitätsbetonte multifunktionellem Training eine Trainingshäufigkeit von 1-2x/Woche (im Mittel 1,67 TE/Woche) ausreichend war um kardiale und metabolische Risikofaktoren, bzw. -scores positiv zu beeinflussen. Eine höhere Trainingshäufigkeit brachte keine statistisch signifikanten Zusatzeffekte, wobei bezüglich des 10-Jahres Myocard-Infarkt Risiko eine Tendenz zu Gunsten der höheren Trainingshäufigkeit zu beobachten war.

Danksagung

Für die Unterstützung zur Erhebung der 12-Jahres-Daten der EFOPS-Studie möchten wir uns ganz herzlich bei der Staedtler-Stiftung, Nürnberg bedanken. Keiner der Autoren hatte einen Interessenkonflikt.

LITERATUR

1. ASIKAINEN TM, KUKKONEN-HARJULA K, MIILUNPALO S: Exercise for health for early post-menopausal women: a systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med* 34 (2004) 753-778. doi:10.2165/00007256-200434110-00004.
2. DELECLUSE C, COLMAN V, ROELANTS M, VERSCHUEREN S, DERAVE W, CEUX T, EIJNDE BO, SEGHERS J, PARDAENS K, BRUMAGNE S, GORIS M, BUEKERS M, SPAEPE A, SWINEN S, STIJNEN V: Exercise programs for older men: mode and intensity to induce the highest possible health-related benefits. *Prev Med* 39 (2004) 823-833. doi:10.1016/j.ypmed.2004.03.023.
3. GAESSER GA: Exercise for prevention and treatment of cardiovascular disease, type 2 diabetes, and metabolic syndrome. *Curr Diab Rep* 7 (2007) 14-19. doi:10.1007/s11892-007-0004-8.
4. JOHNSON JL, SLENTZ CA, HOUMARD JA, SAMSA GP, DUSCHA BD, AIKEN LB, MCCARTNEY JS, TANNER CJ, KRAUS WE: Exercise training amount and intensity effects on metabolic syndrome (from Studies of a Targeted Risk Reduction Intervention through Defined Exercise). *Am J Cardiol* 100 (2007) 1759-1766. doi:10.1016/j.amjcard.2007.07.027.
5. KELLER C, TREVINO RP: Effect of two frequencies of walking on cardiovascular risk factors in Mexican American women. *Res Nurs Health* 24 (2001) 390-401. doi:10.1002/nur.1039.
6. KEMMLER W, BEBENEK M, VON STENGEL S: Einfluss eines langfristigen körperlichen Trainings auf Risikofaktoren von Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei postmenopausalen Frauen. *Dtsch Z Sportmed* 63 (2012) 13-19.

7. KEMMLER W, BEBENEK M, VON STENGEL S: Dosis Wirkungsbeziehung eines körperlichen Trainings zur Prophylaxe und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen mit Osteopenie. *Osteologie* (2013) (accepted for publication).
8. KEMMLER W, LAUBER D, MAYHEW D, WASSERMANN A: Predicting maximal strength in trained postmenopausal woman. *J Strength Cond Res* 20 (2006) 838-842.
9. KEMMLER W, VON STENGEL S, BEBENEK M, ENGELKE K, KALENDER W: Dose response effect of exercise frequency on bone mineral density in postmenopausal, osteopenic fe-males. *Scan J Med Sci Sports* (2012) online first.
10. KEMMLER W, VON STENGEL S, BEBENEK M, ENGELKE K, HENTSCHEKE C, KALENDER WA: Exercise and fractures in postmenopausal women: 12-year results of the Erlangen Fitness and Osteoporosis Prevention Study (EFOPS). *Osteoporos Int* 23 (2012) 1267-1276. doi:10.1007/s00198-011-1663-5.
11. KOHL HW, 3RD: Physical activity and cardiovascular disease: evidence for a dose re-sponse. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) S472-483; discussion S493-494.
12. LÖWEL H: Koronare Herzkrankheit und akuter Myokardinfarkt. Berlin. Robert-Koch-Institut, 2006.
13. MARCUS R: Exercise: moving in the right direction. *J Bone Miner Res* 13 (1998) 1793-1796. doi:10.1359/jbmr.1998.13.12.1793.
14. MOORE RL: Cellular adaptations of the heart muscle to exercise training. *Ann Med* 30 (1998) 46-53.
15. NCEP: Executive Summary of The Third Report of The National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, And Treatment of High Blood Cholesterol In Adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA* 285 (2001) 2486-2497. doi:10.1001/jama.285.19.2486.
16. OHKAWARA K, TANAKA S, MIYACHI M, ISHIKAWA-TAKATA K, TABATA I: A dose-response relation between aerobic exercise and visceral fat reduction: systematic review of clinical trials. *Int J Obes (Lond)* 31 (2007) 1786-1797. doi:10.1038/sj.sjo.0803683.
17. OJA P: Dose response between total volume of physical activity and health and fitness. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) S428-437; discussion S452-453.
18. READY AE, NAIMARK B, DUCAS J, SAWATZKY JV, BORESKIE SL, DRINKWATER DT, OOSTERVEEN S: Influence of walking volume on health benefits in women post-menopause. *Med Sci Sports Exerc* 28 (1996) 1097-1105. doi:10.1097/00005768-199609000-00004.
19. SAMITZ G, EGGER M, ZWAHLEN M: Domains of physical activity and all-cause mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Int J Epidemiol* 40 (2011) 1382-1400. doi:10.1093/ije/dyr112.
20. SCHMIDT-TRUCKSASS A: [The metabolic syndrome and sports]. *MMW Fortschr Med* 148 (2006) 30-32.
21. STATISTISCHES BUNDESAMT: Gesundheit in Deutschland. Berlin, 2006.
22. SWAIN DP, FRANKLIN BA: Comparison of cardioprotective benefits of vigorous versus moderate intensity aerobic exercise. *Am J Cardiol* 97 (2006) 141-147. doi:10.1016/j.amjcard.2005.07.130.
23. WEINECK J: Optimales Training. Spitta-Verlag, Erlangen, 2007.
24. WILSON PW, D'AGOSTINO RB, LEVY D, BELANGER AM, SILBERSHATZ H, KANNEL WB: Prediction of coronary heart disease using risk factor categories. *Circulation* 97 (1998) 1837-1847. doi:10.1161/01.CIR.97.18.1837.

Korrespondenzadresse:
Dr. Simon von Stengel
Institut für Medizinische Physik
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
Henkestrasse 91
91052 Erlangen
E-Mail: simon@imp.uni-erlangen.de