

Brinkmann C¹, Geisler S², Klemme F¹, Schiffer T³, Falkowski G⁴, Bloch W¹, Brixius K¹

Einfluss von Krafttraining auf das metabolische Syndrom – Bedeutung einer veränderten Muskelmorphologie

Effects of Strength Training on the Metabolic Syndrome – Relevance of Changes in Muscle Morphology

¹Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Molekulare und zelluläre Sportmedizin, Deutsche Sporthochschule Köln

²Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft, Deutsche Sporthochschule Köln

³Ambulanz für Sporttraumatologie und Gesundheitsberatung, Deutsche Sporthochschule Köln

⁴Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Präventive und rehabilitative Sportmedizin, Deutsche Sporthochschule Köln

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Artikel soll die Auswirkungen eines Krafttrainings auf das metabolische Syndrom klären. Bei der durchgeführten Studie nahmen 13 Frauen und 7 Männer mit entsprechender Pathogenese (55 ± 4 Jahre) 2mal wöchentlich 14 Wochen lang an einem Ganzkörpertraining mit submaximalen Kräfteinsätzen teil. Die Parameter Gesamtcholesterin, LDL, HDL, Triglyceride, Nüchternblutglucose und Insulin wurden vor und nach dem Training analysiert. 5 Frauen und 5 Männer der Gruppe (55 ± 5 Jahre) unterzogen sich einer Muskelbiopsie am M. vastus lateralis. Die HDL-Cholesterinwerte waren nach der Krafttrainingsperiode für das Gesamtkollektiv erhöht (von $45,80 \pm 9,79$ mg/dl auf $51,35 \pm 10,54$ mg/dl), wobei in einer Kontrollmessung zudem trainingsunabhängige Schwankungen der HDL-Werte detektiert wurden. Bei allen anderen Stoffwechselfparametern ergaben sich keine signifikanten Veränderungen der Mittelwerte. Eine Reduktion des Blutdrucks oder BMI wurde nicht bewirkt. Es zeigte sich nach dem Training eine Hypertrophie der Muskelfasern (Längenzunahme der ellipse minor axis von $57,9 \pm 8,7$ μm auf $66,0 \pm 10,7$ μm). Eine Veränderung der Muskelfaserzusammensetzung ergab sich nicht. Das in der Studie durchgeführte Krafttraining induziert im Skelettmuskel Wachstumsimpulse. Es scheint jedoch noch kein ausreichender Stimulus zu sein, um nach 3 Monaten – trotz bewirkter morphologischer Veränderungen des Muskelgewebes – auch einen deutlich positiven Einfluss auf kardiometabolische Risikofaktoren zu nehmen.

Schlüsselwörter: Krafttraining, metabolisches Syndrom, Stoffwechselparameter, Muskelmorphologie

PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG

Das metabolische Syndrom bezeichnet ein Cluster verschiedener Risikofaktoren für die Entstehung kardiovaskulärer Erkrankungen. Diabetes mellitus Typ 2 tritt im Zusammenhang mit dem metabolischen Syndrom verstärkt auf (17). Störungen des Fettstoffwechsels, Hyperglykämie und eine Insulinresistenz, Bluthochdruck sowie Übergewicht können Symptome des Krankheitsbildes sein. Exakte Kriterien zur Diagnostik wurden vom National Cholesterol Education Program (NCEP) 2001 festgelegt (10). Die positive Wirkung von Ausdauertraining auf Blutfette, Körpergewicht, Insulinsensitivität und Blutdruck konnte bereits erschlossen werden (8,14,27). Verschiedene Studien lassen vermuten, dass Krafttraining ebenfalls einen wichtigen Beitrag in der Therapie leisten kann (6,7,11,21).

SUMMARY

Effects of strength training on the metabolic syndrome are discussed in this article. 13 women and 7 men (55 ± 4 years old), who are seriously affected by the metabolic syndrome, took part in our investigation and completed the 14-week submaximal resistance training for the whole body twice a week. Total cholesterol, LDL, HDL, triglycerides, fasting glucose value and insulin were analysed before and after the training period. Additionally, muscle biopsies were obtained from vastus lateralis muscle of 5 women and 5 men (55 ± 5 years old). On average, the training caused a significant increase in HDL for the whole group (from 45.80 ± 9.79 mg/dl to 51.35 ± 10.54 mg/dl). Besides, training-independent variations in HDL were detected at a control-measurement. None of the other blood-parameters changed significantly. A reduction of blood pressure or BMI was not observed. A significant hypertrophy of muscle fibres was detected after the training period (increase in ellipse minor axis: 57.9 ± 8.7 μm to 66.0 ± 10.7 μm). Muscle fibre composition did not change. Strength training performed as in our study induces hypertrophic impulses on skeletal muscle. In spite of morphological changes in muscle cells, the training does not seem to have a remarkable effect on cardio metabolic risk factors at least not after 3 months of performance.

Key Words: strength training, metabolic syndrome, metabolic parameters, muscle morphology

Durch die Generierung morphologischer Veränderungen des Muskelgewebes beim Krafttraining sind positive Effekte denkbar. Im menschlichen Muskel finden sich drei verschiedene Muskelfasertypen mit unterschiedlichen Stoffwechsel- und Kontraktionseigenschaften (24). Ein umgekehrter Zusammenhang von der Anzahl an Typ IIX Fasern und der Insulinempfindlichkeit kann vermutet werden (16,20). Eine positive Wirkung könnte sich für Patienten mit Insulinresistenz ergeben, wenn man annimmt, dass durch Krafttraining eine Muskelfasertransformation von Typ IIX in Richtung zu Typ IIA bzw. Typ I Fasern bewirkt werden kann (1,2,18,24). Zudem wäre vorstellbar, dass sich eine entsprechende Transformation durch den höheren Fettstoffwechsel und eine höhere oxidative Kapazität von Typ I und Typ IIA Fasern im Vergleich

zu Typ IIX Fasern positiv auf das Blutlipidprofil auswirkt. Durch Induktion einer Muskelhypertrophie und immanent einer gesteigerten Verstoffwechslung freier Fettsäuren aus ekto- oder intramuskulären Triglyceridablagerungen oder einer Mehraufnahme und Verwertung von Blutglucose im Muskelgewebe, könnte ein weiterer Beitrag zur Bekämpfung des metabolischen Syndroms geleistet werden.

Mit der von uns durchgeführten Studie sollten die Auswirkungen eines Krafttrainings auf kardio-metabolische Risikofaktoren bei Patienten mit metabolischem Syndrom untersucht werden. Ziel der Pilotstudie war es vor allem, Hinweise auf Zusammenhänge zwischen möglichen Änderungen in der Muskelmorphologie und Veränderungen der Stoffwechselfparameter zu gewinnen.

MATERIAL UND METHODEN

Versuchspersonen

Durch eine Zeitungsannoncen wurden sportlich inaktive, übergewichtige Teilnehmer mittleren Alters (>40 Jahre) rekrutiert. Es konnten 20 Probanden (vgl. Tab.1) mit metabolischem Syndrom (Diagnostik erfolgte nach den Kriterien des NCEP (10)) für die Studie ausgewählt werden.

Studienablauf

Alle Probanden trainierten 2mal wöchentlich 14 Wochen lang und nahmen mindestens an 90% der Trainingseinheiten teil. Die Stoffwechselfparameter wurden an den Zeitpunkten T1 (8 Wochen vor Trainingsbeginn), T2 (wenige Tage vor Trainingsbeginn) und T3 (wenige Tage nach Trainingsende) analysiert. 10 Probanden unterzogen sich vor und nach der Trainingsperiode bei T1 und T3 einer Muskelbiopsie, alle Probanden bei T2 und T3 einer Maximalkraftdiagnostik.

Trainingsdesign

Das Training gliederte sich in drei direkt aufeinander folgende Phasen. Der Gesamtumfang der Trainingseinheiten variierte in den unterschiedlichen Trainingszeiträumen.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten zum Zeitpunkt T1

	Alter (Jahre)	Größe (m)	BMI (kg/m ²)		Alter (Jahre)	Größe (m)	BMI (kg/m ²)
Frauen n = 13	55 ± 4	1,65 ± 0,06	32,88 ± 7,54	Frauen n = 5	56 ± 2	1,67 ± 0,06	33,0 ± 3,5
Männer n = 7	55 ± 5	1,79 ± 0,07	30,56 ± 5,50	Männer n = 5	54 ± 7	1,80 ± 0,05	30,4 ± 3,7

Tabelle 2: Messwerte der Stoffwechselfparameter und des Blutdrucks. 1) Hochsignifikant verschiedenes Ergebnis zum Zeitpunkt T2 im Vergleich zum Messwert aus T1 ($p \leq 0,01$). 2) Hochsignifikant verschiedenes Ergebnis zum Zeitpunkt T3 im Vergleich zum Messwert aus T2 ($p \leq 0,01$).

	Frauen			Männer			Gesamtkollektiv		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Mittelwert Gesamtcholesterin (mg/dl)	243,54 ± 46,09	232,15 ± 46,11	244,54 ± 43,39	216,00 ± 16,44	211,71 ± 20,11	216,86 ± 19,10	234,84 ± 40,80	225,00 ± 39,63	234,85 ± 38,57
Mittelwert LDL (mg/dl)	152,15 ± 47,11	152,69 ± 42,27	159,85 ± 38,77	133,50 ± 17,95	144,57 ± 17,41	144,14 ± 17,53	146,26 ± 40,60	149,85 ± 35,21	154,35 ± 33,25
Mittelwert HDL (mg/dl)	55,85 ± 17,09	46,69 ± 11,53	53,85 ± 11,47	53,67 ± 9,18	44,14 ± 5,73	46,71 ± 7,09	55,16 ± 14,80	45,86 ± 9,79	51,35 ± 10,54
Mittelwert Triglyceride (mg/dl)	178,15 ± 62,57	164,15 ± 53,44	154,77 ± 66,43	143,83 ± 69,22	116,43 ± 53,44	129,86 ± 54,26	167,32 ± 64,88	147,45 ± 52,13	146,05 ± 62,18
Mittelwert Nüchtern-Insulin (pmol/l)	80,55 ± 43,45	76,28 ± 33,73	71,08 ± 36,34	150,77 ± 69,67	134,72 ± 44,55	128,74 ± 54,60	105,13 ± 62,50	96,74 ± 46,51	91,26 ± 50,71
Mittelwert Nüchtern-glucose (mg/dl)	104,69 ± 11,39	103,08 ± 11,91	101,85 ± 12,69	113,00 ± 12,26	101,71 ± 12,27	103,43 ± 6,85	107,32 ± 12,00	102,60 ± 11,73	102,40 ± 10,83
Mittelwert HOMA-Index	3,03 ± 1,68	2,87 ± 1,54	2,66 ± 1,72	6,00 ± 2,94	4,77 ± 1,61	4,80 ± 2,18	4,07 ± 2,57	3,53 ± 1,78	3,41 ± 2,12
Mittelwert Blutdruck Systole (mmHg)	132,20 ± 6,37	132,30 ± 7,32	134,00 ± 9,57	123,60 ± 5,32	126,00 ± 5,57	130,00 ± 3,61	129,33 ± 7,20	130,20 ± 7,26	132,67 ± 8,14
Mittelwert Blutdruck Diastole (mmHg)	69,90 ± 9,88	75,10 ± 5,34	75,20 ± 7,44	72,40 ± 13,30	77,00 ± 3,94	84,00 ± 3,24	70,73 ± 10,71	75,73 ± 4,86	78,13 ± 7,55
Mittelwert BodyMass-Index (kg/m ²)	32,88 ± 7,54	32,54 ± 7,44	32,66 ± 7,22	30,56 ± 5,50	30,64 ± 5,15	30,28 ± 4,97	32,15 ± 7,02	31,88 ± 6,64	31,83 ± 6,59

1. Phase (2 Wochen): Pro Übung 3 Sätze á 20-25 Wiederholungen bei Lasten von etwa 50% des Maximalgewichts. Übungen an Trainingsgeräten der Firma Gym80 (Gelsenkirchen, Deutschland): „Beinpresse liegend“, „Beinbeugen“, „Latziehen“, „Bankdrücken sitzend“, „Crunches“ auf der Bauchbank und „Rückenstrecken“ am Gerät wurden mit dem eigenen Körpergewicht ausgeführt, 3 Sätze mit maximaler Wiederholungszahl jeweils bis zur muskulären Ausbelastung.

2. Phase (4 Wochen): Bei jeder Übung der 1. Trainingsphase, an der sich das Gewicht verstellen ließ, ein Aufwärmsetz mit 20-25 Wiederholungen bei Lasten von etwa 50% des Maximalgewichts, dann 2 Sätze á 10-15 Wiederholungen bei Lasten von 65-75% des Maximalgewichts. Die Übung „Beinstrecken“ wurde mit gleicher Trainingsanweisung zusätzlich durchgeführt. Die Übungen

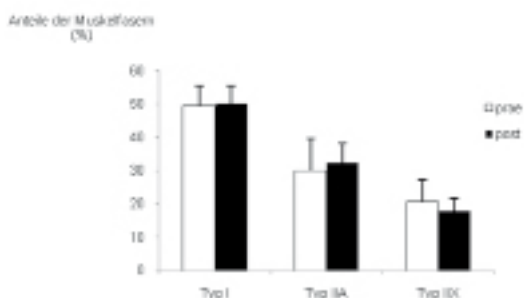


Abbildung 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anteile der Muskelfasern an der Gesamtverteilung (%) vor und nach der Krafttrainingsperiode. Keine statistisch signifikanten Veränderungen.

„Crunches“ und „Rückenstrecken“ erfolgten weiter entsprechend den Anweisungen aus der 1. Trainingsphase.

3. Phase (8 Wochen): Bei jeder Übung der 2. Trainingsphase, an der sich das Gewicht verstellen ließ, ein Aufwärmsetz mit 20-25 Wiederholungen bei Lasten von etwa 50% des Maximalgewichts, dann 3 Sätze á 10-15 Wiederholungen bei Lasten von 65-75% des Maximalgewichts. Die Übung „Rudern“ wurde mit gleicher Trainingsanweisung zusätzlich durchgeführt. Die Übungen „Crunches“ und „Rückenstrecken“ erfolgten weiter entsprechend den Anweisungen aus der 1. Trainingsphase.

Bestimmung der Stoffwechselfparameter, des Blutdrucks und Körpergewichts

Nüchtern-glucose- und Cholesterinwert wurden aus dem Blutserum mit dem Analysegerät COBAS MIRA PLUS der Firma Hoffmann-La Roche AG (Basel, Schweiz) ermittelt. Die Datenanalyse des HDL konnte mit dem Reagenssystem ABX PENTRA HDL DIRECT CP der Firma ABX Diagnostics (Montpellier, Frankreich) erfolgen. Mit Hilfe der FRIEDWALD-Formel (26) wurde die LDL-Konzentration berechnet. Die Bestimmung des Nüchterninsulins geschah mit Hilfe des Geräts ELECSYS 2010 der Firma Roche (Mannheim, Deutschland). Die Insulinsensitivität wurde mit dem HOMA-Index (25) beschrieben. Der Blutdruck konnte mit dem System HDI/Puls-wave™ CR-2000 der Firma Hypertension Diagnostics Inc. (Eagan, USA) festgestellt werden. Das Körpergewicht wurde auf der Waage SECA 862 der Firma Seca (Hamburg, Deutschland) erfasst.

Muskelbiopsie und histologische Analyse

Die Gewebeentnahme am M. vastus lateralis erfolgte nach lokaler Anästhesie mit einer Biopsienadel, wie sie EVANS et al. (9) verwenden. Die Gewebeproben wurden in Tissue-Tek-Fixierkleber der Firma Sakura (Zoeterwoude, Niederlande) in einem Isopentan-Bad auf flüssigem Stickstoff heruntergekühlt und schließlich in flüssigen Stickstoff überführt. Nach dem Schneiden der Gewebeproben am Kryostat erfolgte eine Muskelfasertypisierung nach der Methode von BROOKE & KAISER (4). Bei der bioinformatischen Auswertung der Präparate mittels der Software „Scion Image for Windows Beta 4.0.2.“ der Firma Scion Corporation (Maryland, USA) wurde die ellipse minor axis gemessen, die einen schnittwinkel-unabhängigen Wert für den Muskelzelldurchmesser angibt. Sie ist die längste Senkrechte zur längst möglichen Strecke innerhalb der Zelle. Pro Schnittpräparat konnten 203 ± 82 Zellen analysiert werden.

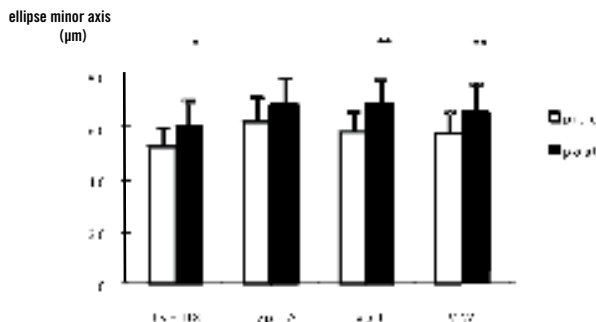


Abbildung 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge der ellipse minor axis der Muskelfasern (µm) vor und nach der Krafttrainingsperiode. ellipse minor axis: längste Senkrechte zur längst möglichen Strecke innerhalb der Zelle. * Signifikante Längenzunahme ($p \leq 0,05$). ** Hochsignifikante Längenzunahme ($p \leq 0,01$).

Kraftmessung

Die Messung der isometrischen Maximalkraft der Kniestrecker wurde an der Beinpresse „Desmotronic“ der Firma Schnell (Peutenhausen, Deutschland) bei einem Knieinnenwinkel von 130 Grad durchgeführt. Die Probanden wurden immer zur gleichen Tageszeit getestet und sollten vor der Testung tagsüber keinen Sport treiben.

Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm „SPSS 2005 12.0“ der Firma SPSS Inc. (Chicago, USA). Mit Varianzanalysen und dem t-Test wurden Unterschiede der erhobenen Mittelwerte und geschlechtsspezifische Veränderungen der gemessenen Werte auf Signifikanzen geprüft. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit p von $p \leq 5\%$ wird von einer signifikanten Entwicklung gesprochen, bei $p \leq 1\%$ von einem hochsignifikanten Ergebnis. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm „Microsoft Excel 2000“ der Firma Microsoft Corporation (Redmond, USA).

ERGEBNISSE

Die Werte der gemessenen Stoffwechselfparameter, des Blutdrucks und BMI sind in Tab.2 dargestellt. Bei den HDL-Werten kam es zu signifikanten Veränderungen von T1 zu T2 und von T2 zu T3. In der Muskelfaserverteilung zeigten sich keine signifikanten Veränderungen bei den Mittelwerten der Anteile der verschiedenen Fasertypen (vgl. Abb. 1). Eine signifikante Längenzunahme der ellipse minor axis konnte nach der Trainingsintervention im Mittel für alle Fasern (von $57,9 \pm 8,7$ µm auf $66,0 \pm 10,7$ µm) und im Besonderen für die Fasern des Typs IIX (von $52,8 \pm 7,3$ µm auf $60,3 \pm 10,1$ µm) und des Typs I (von $58,4 \pm 7,6$ µm auf $69,2 \pm 9,4$ µm) ausgemacht werden (vgl. Abb.2). Im Durchschnitt stiegen die Maximalkraftwerte von 3506 ± 1164 N vor auf 4338 ± 1320 N nach der Trainingsperiode an. Es kam bei keinem gemessenen Parameter zu geschlechtsspezifischen Veränderungen der Mittelwerte.

DISKUSSION

Ein 14-wöchiges Training, das wie beschrieben durchgeführt wird, scheint kein ausreichender Stimulus zu sein, um einen deutlich

positiven Einfluss auf die untersuchten Stoffwechselfparameter zu nehmen. Lediglich die HDL-Werte waren nach der Trainingsphase signifikant erhöht. In anderen Studien konnte gezeigt werden, dass sich sowohl Gesamtcholesterin- als auch HDL-, LDL- und Triglyceridwerte durch regelmäßiges Krafttraining verbessern lassen (6,11,21). Es muss aber beachtet werden, dass die Cholesterin-Werte zeitlichen Schwankungen unterliegen (3), worauf auch die Veränderung des HDL-Wertes vom Zeitpunkt T2 im Vergleich zu T1 (beide Messzeitpunkte lagen vor der Trainingsintervention, um generelle Schwankungen der Stoffwechselfparameter zu detektieren) hinweisen könnte. Eine Reduktion des Blutdrucks durch Krafttraining – wie von COLLIER et al. (7) berichtet – konnte bei den Probanden unserer Studie trotz Anstiegs des HDL-Cholesterins, das gefäßprotektiv wirkt und dem eine vasodilatative Wirkung zukommt (19), nicht beobachtet werden. Es ist denkbar, dass eine Muskelhypertrophie, wie sie in der vorliegenden Studie (gemessen an der Zunahme der ellipse minor axis der Muskelzellen des M. vastus lateralis) nachgewiesen wurde, über einen erhöhten Kalorien-Grundumsatz zu einer Gewichtsreduktion beitragen kann (22). FENKCI et al. (12) zeigen, dass regelmäßiges Krafttraining bei Übergewichtigen zu einem Gewichtsverlust führt. In unserer Studie wurde eine Verringerung des BMI nach 14 Wochen Training (noch) nicht erzielt. Möglicherweise kompensiert das Gewicht der neuen Muskelmasse das Gewicht eines reduzierten Fettanteils. Eine Messung der Körperkomposition hätte an dieser Stelle zusätzlich Aufschlüsse geben können und soll für zukünftige Untersuchungen berücksichtigt werden. Durch Krafttraining kann eine Muskelfasertransformation in Richtung Typ IIX → Typ IIA / Typ I begünstigt werden (1,2,18,24). Die Hypothese, dass ein möglicher „switch“ einen positiven Einfluss auf das metabolische Syndrom nimmt, wurde durch unsere Studie weder bestätigt noch widerlegt (da eine Muskelfasertransformation bei den Probanden nicht angezeigt wurde). Geschlechtsspezifische Veränderungen der Stoffwechselwerte und morphologischen Daten konnten nicht festgestellt werden. Letzteres steht im Einklang mit der Tatsache, dass sich die hormonelle Antwort auf Krafttrainingsbelastungen, welche strukturelle Veränderungen im Muskel induziert, bei älteren Frauen im Vergleich zu älteren Männern ähnelt (15). Es bleibt auf limitierende Faktoren der Studie hinzuweisen. 7 Probanden nahmen während des Trainings Medikamente ein (L-Thyroxin/ L-Tyroxin, Struna/ ASS 100, Metoprolol, Irbesatan/ Metoprolol/ Atenolol/ Atenolol, ASS/Provostratin), welche als mögliche Fehlerindikatoren beachtet werden müssen. Dass keine Verbesserungen der Werte der Nüchtern-glucose und Insulinsensitivität festgestellt wurden, kann darin begründet sein, dass die Mittelwerte von Nüchtern-glucose und des HOMA-Index zum Zeitpunkt T1 bereits im Normalbereich lagen. Es sei auf die Studie von CAUZA et al. (6) verwiesen, welche mit ähnlichem Trainingsdesign Diabetes Typ 2 Patienten trainierten, die vor dem Training deutlich zu hohe Blutzucker-Werte und eine Insulinresistenz aufwiesen. Hier konnte eine signifikante Verringerung des Nüchtern-glucose-Wertes und eine Verbesserung der Insulinsensitivität nach der Trainingsperiode verzeichnet werden. Bei der von uns durchgeführten Studie handelt es sich um eine Pilotstudie mit relativ geringer Probandenzahl, die bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden muss. Sich daran anschließend sollen zukünftig weitere Untersuchungen den Zusammenhang von morphologischen Veränderungen der Muskulatur und Stoffwechselfparametern bei Probanden mit metabolischem Syndrom und Diabetes Typ II eruieren.

In unserer Studie ließen sich Größenzunahmen der Muskelfasern und Kraftzuwächse nach der Trainingsperiode konstatieren. Möglicherweise ist die Dauer, der Umfang bzw. die Intensität des Trainings anders zu wählen oder eine Kombination mit einem Ausdauertraining/einer Ernährungsumstellung zu empfehlen (5, 13, 23), um einen besseren Effekt im Hinblick auf die kardiometabolischen Risikofaktoren zu erzielen.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

LITERATUR

1. ANDERSEN JL, AAGAARD P: Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve* 23 (2000) 1095-1104.
2. BAMMAN MM, HILL VJ, ADAMS GR, HADDAD F, WETZSETIN CJ, GOWER BA, AHMED A, HUNTER GR: Gender differences in resistance-training-induced myofiber hypertrophy among older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 58 (2003) 108-116.
3. BLÜHER M, HENTSCHEL B, RASSOUL F, RICHTER V: Influence of dietary intake and physical activity on annual rhythm of human blood cholesterol concentrations. *Chronobiol Int* 18 (2001) 541-557.
4. BROOKE MH, KAISER KK: Muscle fiber types: how many and what kind? *Arch Neurol* 23 (1970) 369-379.
5. BRYNER RW, ULLRICH IH, SAUERS J, DONLEY D, HORNSBY G, KOLAR M, YEATER R: Effects of resistance vs. aerobic training combined with an 800 caloric liquid diet on lean body mass and resting metabolic rate. *J Am Coll Nutr* 18 (1999) 115-121.
6. CAUZA E, HANUSCH-ENSERER U, STRASSER B, LUDVIK B, METZSCHIMMERL S, PACINI G, WAGNER O, GEORG P, PRAGER R, KOSTNER K, DUNKEY A, HABER P: The relative benefits of endurance and strength training on the metabolic factors and muscle function of people with type 2 diabetes mellitus. *Arch Phys Med Rehabil* 86 (2005) 1527-1533.
7. COLLIER SR, KANALEY JA, CARHART R JR, FRECHETTE V, TOBIN MM, HALL AK, LUCKENBAUGH AN, FERNHALL B: Effect of 4 weeks of aerobic or resistance exercise training on arterial stiffness, blood flow and blood pressure in pre- and stage-1 hypertensives. *J Hum Hypertens* 22 (2008) 678-686.
8. DUMORTIER M, BRANDOU F, PEREZ-MARTIN A, FEDOU C, MERCIER J, BRUN JF: Low intensity endurance exercise targeted for lipid oxidation improves body composition and insulin sensitivity in patients with the metabolic syndrome. *Diabetes Metab* 29 (2003) 509-518.
9. EVANS WJ, PHINNEY SD, YOUNG VR: Suction applied to a muscle biopsy maximizes sample size. *Med Sci Sports Exerc* 14 (1982) 101-102.
10. EXPERT PANEL ON DETECTION, EVALUATION, AND TREATMENT OF HIGH BLOOD CHOLESTEROL IN ADULTS: 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.
11. FAHLMANN M, BOARDLEY D, LAMBERT CP, FLYNN MG: Effects of endurance training and resistance training on plasma lipoprotein profiles in elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 57 (2002) 54-60.
12. FENKCI S, SANSAN A, ROTA S, ARDIC F: Effects of resistance or aerobic exercises on metabolic parameters in obese women who are not on a diet. *Adv Ther* 23 (2006) 404-413.
13. FERRARA C, GOLDBERG AP, ORTMAYER HK, RYAN AS: Effects of aerobic and resistive exercise on glucose disposal and skeletal muscle metabolism in older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61 (2006) 480-487.
14. HALVERSTADT A, PHARES DA, WILUND KR, GOLDBERG AP, HAGBERG JM: Endurance exercise training raises high-density lipoprotein cholesterol and lowers small low-density lipoprotein and very low-density lipoprotein independent of body fat phenotypes in older men and women. *Metabolism* 56 (2007) 444-450.

15. HÄKKINEN K, PAKARINEN A: Acute hormonal responses to heavy resistance exercises in men and women at different ages. *Int J Sports Med* 16 (1995) 507-513.
16. LILLIOJA S, YOUNG AA, CULTER CL, IVY JL, ABBOTT WG, ZAWADZKI JK, YKI-JÄRVINEN H, CHRISTIN L, SECOMB TW, BOGARDUS C: Skeletal muscle capillary density and fiber type are possible determinants of in vivo insulin resistance in man. *J Clin Invest* 80 (1987) 415-424.
17. LORENZO C, OKOLOISE M, WILLIAMS K, STERN MP, HAFFNER SM: The metabolic syndrome as predictor of type 2 diabetes - the San Antonio heart study. *Diabetes Care* 26 (2003) 3153-3159.
18. MARTEL GF, ROTH SM, IVEY FM, LEMMER JT, TRACY BL, HURLBUT DE, METTER EJ, HURLEY BF, ROGERS MA: Age and sex affect human muscle fibre adaptations to heavy-resistance strength training. *Exp Physiol* 91 (2006) 457-464.
19. MINEO C, DEGUCHI H, GRIFFIN JH, SHAUL PW: Endothelial and antithrombotic actions of HDL. *Circ Res* 98 (2006) 1352-1364.
20. NYHOLM B, QU Z, KAAL A, PEDERSON SB, GRAVHOLT CH, ANDERSEN JL, SALTIN B, SCHMITZ O: Evidence of an increased number of type IIB muscle fibers in insulin resistant first degree relatives of patients with NIDDM. *Diabetes* 46 (1997) 1822-1828.
21. PRABHARAN B, DOWLING EA, BRANCH JD, SWAIN DP, LEUTHOLTZ BC: Effects of 14 weeks of resistance training on lipid profile and body fat percentage in premenopausal women. *Br J Sports Med* 33 (1999) 190-195.
22. PRATLEY R, NICKLAS B, RUBIN M, MILLER J, SMITH A, SMITH M, HURLEY B, GOLDBERG A: Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old men. *J Appl Physiol* 76 (1994) 133-137.
23. RESELAND J, ANDERSSON SA, SOLVOLL K, HJERMANN I, URDAL P, HOLME I, DREVEN CA: Effect of long-term changes in diet and exercise on plasma leptin concentrations. *Am J Clin Nutr* 73 (2001) 240-245.
24. STEINACKER JM, WANG L, LORMES W, REISSNECKER S, LIU Y: Strukturanpassung des Skelettmuskels auf Training. *Dtsch Z Sportmed* 53 (2002) 354-369.
25. STERN S, WILLIAMS K, FERRANNINI E, DEFRONZO RA, BOGARDUS C, STERN MP: Identification of individuals with insulin resistance using routine clinical measurements. *Diabetes* 54 (2005) 333-339.
26. THOMAS L: Labor und Diagnose-Indikationen und Bewertung von Laborbefunden für die medizinische Diagnostik. TH-Books Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main, 2005.
27. YEATER RA, ULLRICH IH, MAXWELL LP, GOETSCH VL: Coronary risk factors in type II diabetes: response to low-intensity aerobic exercise. *W V Med J* 86 (1990) 287-29.

Korrespondenzadresse:

PD Dr. Klara Brixius
Molekulare und zelluläre Sportmedizin
Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin
Deutsche Sporthochschule Köln
Am Sportpark Müngersdorf 6
50933 Köln
E-Mail: brixius@dshs-koeln.de