

Kemmler W, Engelke K, von Stengel S

Ganzkörper-Elektromyostimulation zur Prävention der Sarkopenie bei einem älteren Risikokollektiv. Die TEST-III Studie

Effects of Whole-Body-Electromyostimulation on Sarcopenia in Lean, Elderly Sedentary Women. The TEST-III Study

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

ZUSAMMENFASSUNG

Problemstellung: Sarkopenie gilt als Schlüsselparameter der Gebrechlichkeit und Multimorbidität des älteren Menschen. Ziel der Untersuchung ist es, den Effekt einer Ganzkörper-Elektromyostimulation (WB-EMS) auf Parameter der Körperzusammensetzung und Sarkopenie bei einem besonders gefährdeten Kollektiv zu evaluieren. Methoden: 76 sportlich inaktive, schlanke und osteopenische Frauen über dem 70. Lebensjahr wurden randomisiert einer WB-EMS-Gruppe (n=38) und einer aktiven Kontrollgruppe (aKG: n=38) zugeteilt. Die WB-EMS-Gruppe führte über 54 Wochen ein 20-minütiges leichtes „Bewegungsprogramm“ (1.5 mal/Woche) unter EMS-Applikation durch. Die Kontrollgruppe führte ein leichtes Funktionstraining (2 mal 10 Wochen, 1 mal 60 min/Woche) mit vergleichbaren Körperübungen aus. Primäre Endpunkte der Studie sind regionale und gesamte fettfreie Körpermasse, erfasst über Dual-Energy-X-Ray Absorptiometrie. Ergebnisse: Appendikuläre skeletale Muskelmasse (ASSM: WB-EMS: 62 ± 346 g vs. aKG: -233 ± 475 g), fettfreie Körpermasse (LBM: WB-EMS: 273 ± 589 g vs. aKG: -296 ± 977 g) und Muskelmasse der Oberschenkel-ROI (WB-EMS: 39 ± 223 g vs. aKG: -136 ± 237 g) zeigten jeweils signifikante Zwischengruppenunterschiede ($p=0.005-0.008$; ES: $d' = 0.71-0.76$). Für die sekundären Studien-Endpunkte „Körperfettmasse“, appendikuläre Fettmasse und Fettmasse der OS-ROI wurden keine wesentlichen Unterschiede ($p=0.459-0.865$; ES: $d' = 0.05-0.15$) erfasst, während die Beinkraft signifikant positive Effekte ($p=0.003$, ES: $d' = 0.97$) zugunsten der WB-EMS-Gruppe zeigte. Drop-out- und Anwesenheitsraten der WB-EMS-Gruppe weisen auf eine hohe Akzeptanz dieser Trainingstechnologie hin. Diskussion: Das Ganzkörper-EMS-Training zeigt bei hoher Akzeptanz der Trainingstechnologie signifikante Effekte auf Sarkopenieparameter und Körperzusammensetzung sportlich inaktiver, schlanker Frauen über dem 70. Lebensjahr. Bei Menschen mit geringer Neigung zu sportlicher Aktivität sehen wir WB-EMS als Option zu konventionellen Trainingsprogrammen.

Schlüsselwörter: EMS; Sarkopenie; Körperzusammensetzung; älterer Mensch; Training.

Einleitung

Sarkopenie und die damit einhergehende Muskelschwäche tragen maßgeblich zur Mortalität, Multimorbidität und Gebrechlichkeit des älteren Menschen (3) bei. Insbesondere Krafttraining zeigt auch in höherem Lebensalter positiven Einfluss auf die Muskelmasse (32) und Muskelfunktion (27). Allerdings ist der ältere, oft multimorbide Mensch (37, 40) mit seine orthopädischen und kardialen Limitationen oft gar nicht mehr in der Lage, die nötige hohe Reizintensität eines solchen Trainings zu realisieren (17). Erschwerend kommt hinzu, dass lebenslang „sport-abstinente“

SUMMARY

Loss of muscle mass and corresponding functional decline is closely related to increased frailty, mortality, and morbidity in the elderly. The aim of this study is to evaluate whether 54 weeks of whole-body-electromyostimulation (WB-EMS) positively impacts body composition and sarcopenia parameters in a particularly vulnerable cohort. 76 sedentary, lean females 70 years and older were randomly assigned to either a WB-EMS-group or an active control-group (aCG). Subjects of the WB-EMS-group performed training sessions with WB-EMS application (1.5x20 mins/week, 54 weeks), while in parallel the aCG performed only slight exercises (2 blocks of 10 weeks, 1 session/week). Primary study-endpoints were total and regional lean body mass as assessed by dual-energy-X-ray-absorptiometry. After 54 weeks, significant group-differences ($p=0.005-0.008$; ES: $d' = 0.71-0.76$) were determined for changes of appendicular-skeletal-muscle-mass (ASSM: WB-EMS: 62 ± 346 g vs. CG: -233 ± 475 g), lean-body-mass (LBM: WB-EMS: 273 ± 589 g vs. CG: -296 ± 977 g) and muscle mass of the thigh (WB-EMS: 39 ± 223 g vs. CG: -136 ± 237 g). No difference were determined for total fat mass, appendicular fat mass and thigh fat mass ($p=0.459-0.865$; ES: $d' = 0.05-0.15$). Drop-out and attendance-rate of the WB-EMS intervention indicate the high acceptance of this intervention. In summary, WB-EMS demonstrated favorable effects on muscle parameters and compliance. Although the relevance of multidimensional exercise is undisputably higher for the multimorbid elderly, whole-body-EMS-application may be an option to fight sarcopenia in advanced age, at least for subjects unwilling or unable to exercise conventionally.

Key Words: Electromyostimulation, sarcopenia, body composition, exercise, elderly.

Menschen in höherem Lebensalter kaum von konventionellen Trainingsprogrammen im ambulanten Gruppenrahmen zu überzeugen sind. Alternative Trainingstechnologien wie Ganzkörper-vibration oder Ganzkörper-Elektromyostimulation (WB-EMS),

accepted: November 2012

published online: December 2012

DOI: 10.5960/dzsm.2012.044

Kemmler W, Engelke K, von Stengel S: Ganzkörper-Elektromyostimulation zur Prävention der Sarkopenie bei einem älteren Risikokollektiv. Die TEST-III Studie. Dtsch Z Sportmed 63 (2012) 343-350.

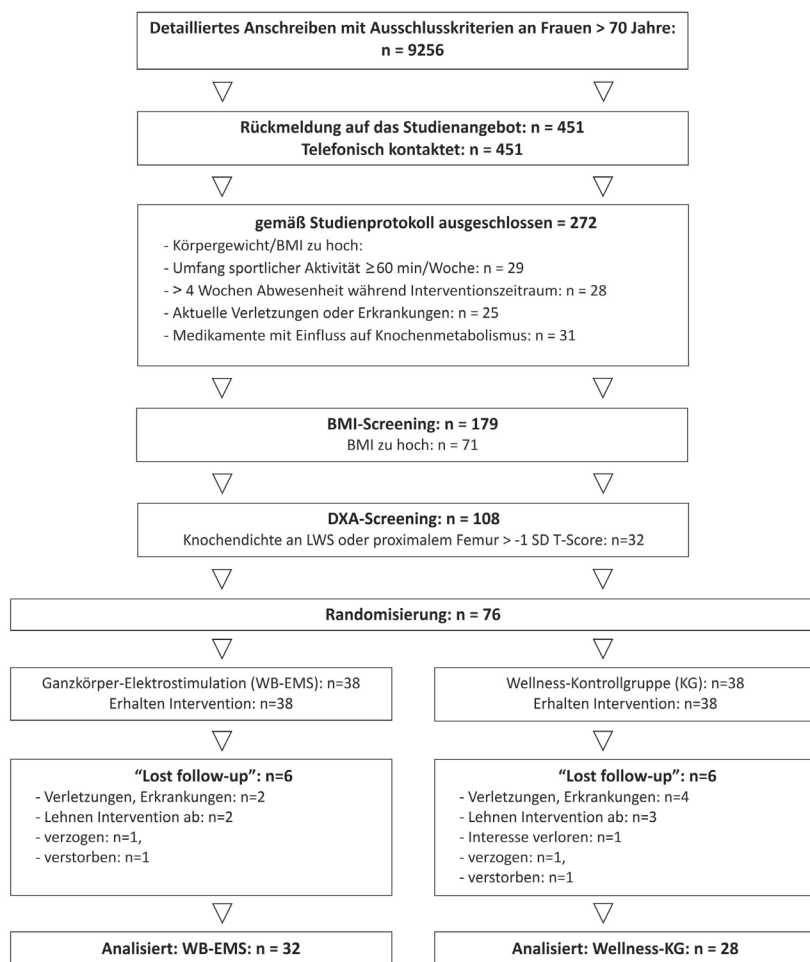


Abbildung 1: "Flow-chart" der WB-EMS-Studie.

welche den Effekt eines leichten, per se unterschwelligen Körpertrainings auf ein effektives Maß verstärken können (24) und die in einem alternativen Setting durchführbar sind, erscheinen als vielversprechende Option für den leistungsschwachen älteren Menschen. Während für die Ganzkörpervibrationstechnologie bereits eine Fülle von entsprechenden Arbeiten vorliegen (Übersicht in: (34,38)), ist die Anzahl der kontrollierten, randomisierten Interventionsstudien, welche den Effekt eines WB-EMS-Trainings auf muskuläre Parameter bei älteren Menschen evaluieren, äußerst gering (20,23)(Die Test-I-Studie untersuchte den Effekt auf Körperzusammensetzung, Ruheumsatz und funktionelle Kapazität bei älteren, sportlich hochaktiven Frauen, die TEST-II-Studie fokussierte die Körperzusammensetzung und HK-Risikofaktoren bei älteren untrainierten Männern mit Metabolischem Syndrom.). Insbesondere die langfristigen Effekte auf die gesamte und regionale Muskelmasse bei älteren, weitgehend sport-abstinenten, schlanken Frauen als die hochrelevante Zielgruppe eines WB-EMS-Trainings, wurden bisher nicht untersucht.

Zielstellung

Vorrangiges Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, den Effekt eines einjährigen WB-EMS-Trainings auf die Körperzusammensetzung unter besonderer Berücksichtigung muskulärer Parameter bei sportlich wenig-inaktiven, schlanken Frauen über dem 70. Lebensjahr zu untersuchen. Berücksichtigung soll dabei auch die regionale

Veränderung der Muskel- und Fettmasse der Oberschenkelmuskulatur finden.

METHODIK

Die Training und Elektromyo-Stimulations (Test-III)-Studie ist eine 12-monatige randomisierte kontrollierte Interventionsstudie mit schlanken, sportlich weitgehend inaktiven Frauen über dem 70. Lebensjahr. Zentrales Ziel der TEST-III ist die Evaluierung des Effekts von WB-EMS auf Osteopenie (Diese Daten werden in der vorliegenden Publikation nicht vorgestellt) und Sarkopenie. Hierzu wurde im Sinne einer Verblindung einer WB-EMS-Intervention (s.u.) eine „aktive Kontrollgruppe“ (s.u.) gegenübergestellt, die vergleichbare niedrigintensive Körperübungen wie die Verumgruppe durchführte. Die Untersuchung wurde von der lokalen Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU; Ethik Antrag 4184) und vom Bundesamt für Strahlenschutz (Z5-22462/2-2010-027) geprüft und genehmigt. Alle Teilnehmer wurden über die Risiken der Untersuchung ausführlich aufgeklärt und gaben vor Untersuchungsbeginn eine schriftliche Einverständniserklärung ab. Die Untersuchung wurde am Institut für Medizinische Physik (IMP) der FAU im Zeitraum von November 2010 bis August

2012 durchgeführt. Die Untersuchung ist unter www.clinicaltrials.gov (NCT 12296776) gemeldet und registriert.

Endpunkte

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf folgende Endpunkte:

Primäre Endpunkte:

- Appendikuläre skeletale Muskelmasse (ASMM)
- Muskelmasse der Oberschenkelmuskulatur

Sekundäre Endpunkte:

- Fettfreie Körpermasse (LBM)
- Gesamtkörper-Fettmasse
- Fettmasse der Oberschenkelmuskulatur
- Maximalkraft der Beinmuskulatur

Stichprobe

Abbildung 1 zeigt das Flussdiagramm der Teilnehmerinnen. Die Grundgesamtheit der über 70 jährigen Frauen (n=9256) der Verwaltungsgemeinschaft Erlangen wurde über persönliche Anschreiben mit den wesentlichsten Studienspezifikationen über das Vorhaben informiert. Insgesamt 451 Frauen meldeten sich auf das Anschreiben und wurden nochmals eingehend bezüglich Ihrer Eignung für die Studie befragt. 272 dieser Frauen mussten auf-

grund unterschiedlicher Gründe (Abb. 1), die mehrheitlich bereits im Anschreiben als Ausschlusskriterien genannt wurden, ausgeschlossen werden. 179 Frauen wurden zu einem BMI-/DXA-Screening eingeladen. Nach Erfassung von Körpergröße und Gewicht mussten nochmals 71 Teilnehmerinnen aufgrund eines zu hohen relativen Körpergewichtes ausgeschlossen werden. Die verbliebenen 108 Teilnehmer wurden mittels DXA auf das Vorliegen einer Osteopenie an Lendenwirbelsäule und proximalem Femur gemäß WHO untersucht. Für 32 Frauen wurde entweder kein osteopenischer Knochenstatus erfasst oder sie wiesen dergestalt niedrige Knochendichtewerte auf, dass eine Aufnahme einer pharmakologischen Therapie angezeigt erschien. Die unten stehende Auflistung zeigt die Ein- und Ausschlusskriterien nochmals in der Übersicht.

Einschlusskriterien:

- weiblich, Alter 70 Jahre und älter
- schlanker Körperbau; Körpergröße in cm-100 > Körpergewicht ($\approx \text{BMI} \leq 24 \text{ kg/m}^2$)
- Osteopenie an LWS und/oder proximalem Femur ("total Hip ROI") gemäß WHO
- Selbstständig lebend (nicht institutionalisiert)

Ausschlusskriterien:

- Sportpartizipation ≥ 60 min/Woche
- Medikamente und Erkrankungen mit Einfluss auf den Knochen- und Muskelmetabolismus
- Schwere neurologische Erkrankungen, Epilepsie
- Herzschrittmacher, schwere Durchblutungsstörungen, Blutungen, starke Blutungsneigung
- Bauchwand- und Leistenhernie; Tumor-Erkrankung
- Fieberhafte Erkrankungen, akute bakterielle und virale Infekte
- Hautverletzungen im Bereich der Elektroden

Die Teilnehmer wurden im Anschluss unter Stratifizierung für das Lebensalter randomisiert (computerunterstützte Blockrandomisierung) den Gruppen „Elektrostimulation“ (WB-EMS) und „aktive Kontrollgruppe“ (aKG) zugewiesen (Abb. 1).

Die basalen Charakteristika mit Mittelwerten und Standardabweichungen beider Interventionsgruppen zeigt Tabelle 1. Insgesamt wurden für die erfassten basalen Charakteristika und Faktoren die Einfluss auf unser Ergebnis haben könnten (Tab. 1; basale Werte in Tab. 3) keine Zwischengruppenunterschiede nachgewiesen.

WB-EMS-Technologie

Die WB-EMS-Technologie wurde bereits in vorhergehenden Publikationen beschrieben (20,23,24), trotzdem soll an dieser Stelle eine kurze Einweisung des Lesers erfolgen. Vergleichbar der etablierten lokalen EMS-Applikation erfolgt bei der WB-EMS über Oberflächenelektroden eine Applikation von niederfrequenten Stromimpulsen ($< 100 \text{ Hz}$) mit niedrigen Stromstärken ($< 100 \text{ mA}$), welche die Muskelzelle durch elektrische Reize innerviert. Im Gegensatz zur lokalen Anwendung ermöglicht die WB-EMS-Ausrüstung über die in Weste und Manschette eingelassenen Elektroden eine gleichzeitige Ansteuerung von 8-10 Muskelgruppen (Beine, Gesäß, Bauch, Brust, unterer/oberer Rücken, Arme sowie 2-4 frei einsetzbare Zusatzelektroden) mit einer Gesamtfläche von bis zu 2800 cm^2 (Abb. 2). Die Reizhöhe bzw. Stromstärke je Muskelgruppe bzw. Elektrode ist dabei über einen Regler am Bediengerät (Abb. 3) individuell und stufenlos einstellbar. Diese Möglichkeit zur indivi-

Tabelle 1: Basale Charakteristika der EMS- und aktiven Kontrollgruppe. WB-EMS: Ganzkörper-Elektromyostimulation; ¹Testablauf nach Fritz und Lusardi (14). ²„Skeletal Muscle Mass Index“ (ASMM/Körpergröße²), vgl. Baumgartner et al. (5) ³Skeletal Muscle Mass Index $< 5,45 \text{ kg/m}^2$ (5); ⁴European Working Group on Sarcopenia in Older People (11) ($< 5,45 \text{ kg/m}^2$ + Gehgeschwindigkeit $< 0,8 \text{ m/sec}$) ⁵zwei und mehr Erkrankungen (Prävalenzraten im Kollektiv: HK-Erkrankungen: 71 %; Diabetes Mellitus: 17 %; Osteoporose 41 %; chronische Rückenschmerzen: 34 %; Arthrose 51 %; Schilddrüsenerkrankungen: 21 %).

Variable	WB-EMS (n=38)	Kontrollgruppe (n=38)
Lebensalter [Jahre]	74,7 \pm 3,7	74,7 \pm 4,4
Alter bei Menopause [Jahre]	50,5 \pm 5,8	49,7 \pm 5,6
BMI [kg/m^2]	22,1 \pm 1,5	22,1 \pm 1,2
Sport, Trainingsumfang [min/Wo.]	34,1 \pm 21,6	31,3 \pm 19,3
Grip-strength (Handkraft) [kg]	23,7 \pm 4,0	23,5 \pm 4,1
Habit. Gehgeschwindigkeit ¹ [m/sec]	1,42 \pm 0,38	1,48 \pm 0,44
„Sarkopenie-Index“ ² [kg/m^2]	5,97 \pm 0,42	6,04 \pm 0,51
Sarkopenie gemäß Baumgartner et al. ³ [n]	3 (8%)	3 (8%)
Sarkopenie gemäß EWGSOP ⁴ [n]	0	0
Multimorbidität ⁵ [n]	22 (58%)	25 (66%)



Abbildung 2: WB-EMS-Ausrüstung. Oben: Weste; unten links: Arm bzw. Manschetten für Arme/Beine; unten rechts: Gesäßgurt.

duellen und regionalen Regelung und Anpassung der Stromstärke ist hochrelevant, da zum einen aufgrund der regional unterschiedlichen Schichtdicken subcutanen Fetts regionale Unterschiede existieren und zum anderen deutliche individuelle Unterschiede bezüglich der Stromtoleranz berücksichtigt werden müssen.

Intervention

Die WB-EMS-Gruppe führte unter Anleitung eines zertifizierten Übungsleiters überdauernd über insgesamt 54 Wochen 1,5 Trainingseinheiten (TE)/Woche bzw. 3 TE à 20 min in 14 Tagen (immer Montags oder Dienstags; 14-tägig Donnerstag oder Freitag) durch. Die aktive Kontrollgruppe führte im selben Zeitraum zwei 10-wöchige Kurse mit leichter Funktionsgymnastik über einmal 60 min/Woche mit 10-wöchiger Unterbrechung zwischen den Trainingsblöcken durch. Die Trainingsmaßnahmen fanden in den Räumlichkeiten des IMP, zentrumsnah gelegen und mit guter Anbindung öffentlicher Verkehrsmittel, statt. Beide Gruppen erhielten

Tabelle 2: Übungsauswahl beim WB-EMS-Training. ¹der erste Übungsabschnitt erfolgte in der Flexionsphase der Beine, nach 4 sec Strompause erfolgte der zweite Übungsabschnitt in der Extensionsphase.

Übung ¹	Hauptsächlich beanspruchte Bereiche
1. Kniebeuge, Oberkörperstrecken, Armbeugung	Beinstrecker, -beuger, Gesäß, Armbeuger, lumbale Musk.
Kniebeuge, Oberkörpervorlage, Armstrecken	Beinstrecker, -beuger, Gesäß, Armstrecker, lumbale Musk.
2. Kniebeuge und Rumpfbeuge (Crunches)	Beinstrecker, -beuger, Gesäß, Bauchmuskulatur
3. Kniebeuge und Latissimusziehen	Beine (s.o.), Gesäß- Rücken-, Schultermusk., Armbeuger
Kniebeuge und Schulterdrücken	Beine (s.o.), Gesäß-, Rückenmuskel, Armstrecker
4. Kniebeuge und Butterfly	Beine (s.o.), Gesäß, Brustmuskulatur
Kniebeuge und Reverse Fly	Beine (s.o.), Gesäß, Rückenmuskulatur
5. Kniebeuge und Brustdrücken nach vorne	Beine (s.o.), Gesäß-, Rückenmuskulatur, Armstrecker
Kniebeuge und Rudern von vorne	Beine (s.o.), Gesäß-, Rückenmuskulatur, Armbeuger



Abbildung 3: WB-EMS-Bediengerät mit Intensitätsreglern für unterschiedliche Körperregionen.

in Abhängigkeit von Ihrer diätetischen Aufnahme (s.u.) eine Calcium- und Vitamin-D-Substitution (Rottapharm/Madaus, Köln, Deutschland) zur Sicherstellung einer Versorgung von maximal 1200 mg/d Ca. und 800 IE/d Vitamin-D. Alle Teilnehmerinnen wurden gebeten Ihr Aktivitätsniveau außerhalb der Intervention stabil zu halten.

WB-EMS-Intervention

Jeweils drei Teilnehmerinnen absolvierten parallel unter personeller Anleitung jeweils desselben Übungsleiters und zusätzlicher Videoanimation eine 20 minütige „dynamische“ Funktionssequenz mit Ganzkörperelektrostimulation (miha bodytec, Augsburg, Deutschland). Das Trainingsprotokoll der Studie sah eine intermittierende Beübung mit 6 sec Stromapplikation zur Durchführung der jeweiligen Übung (Tab.2) und 4 sec „Pause“ ohne Stromapplikation vor. Unser WB-EMS Trainingsprotokoll setzte sich aus 10-15 unterschiedlichen Körperübungen im Stehen zusammen, deren Basis meist eine „leichte“ (s.u.) ein- oder beidbeinige Kniebeuge war. Die in Tabelle 2 aufgeführten Grundübungen wurden z.T. kombiniert (bspw. Übung 2,4,5) und jeweils mit 2 Sätzen und 6-8 Wiederholungen durchgeführt.

Die Bewegungsamplitude der Körperübung (bspw. Kniebeuge im Bereich 0° -35°) wurde niedrig vorgegeben um den Trainingseffekt der Übungen per se möglichst sehr gering zu halten. Zusätzlich wurde über den Untersuchungsverlauf auf eine Belastungsprogression bezüglich der Körperübungen verzichtet. Die Impulsart der EMS-Anwendung war bipolar, der Strom wurde mit 85Hz, einer Impulsbreite von 350µsec und einem direkten Impulsanstieg appliziert. Die dedizierte Reizhöhe (Stromstärke) je Region wurde in den ersten Übungsstunden nach der Stromgewöhnungsphase, in Absprache und auf Rückmeldung der Teilnehmer individuell angepasst und auf Chipkarten gespeichert, um eine rasche Einstellung der Geräte in den kommenden Übungsstunden zu gewährleisten. Die Stromstärke sollte gemäß unseren Vorgaben in einem subjektiven Intensitätsbereich von anstrengend bis sehr anstrengend liegen (RPE 15-16 auf 20stufiger Skala)(RPE 20 als vollständiger Tetanus der Muskulatur im Sinne einer Bewegungsunfähigkeit des Gelenks). Eine Nachregulierung der Stromstärke zur Aufrechterhaltung einer adäquat hohen Reizhöhe bedingt durch eine Stromgewöhnung wurde vom Übungsleiter jeweils nach Nachfrage in regelmäßigen Abständen (2-4 min) vorgenommen.

Aktive Kontrollgruppe (aKG)

Der Schwerpunkt des Trainingsprotokolls der Kontrollgruppe lag auf dynamischen Übungen, die in einem ähnlichen Umfang und einem vergleichbaren Bewegungsausmaß wie die Körperübungen des WB-EMS-Protokoll durchgeföhrt wurden, um den Effekt der Körperübungen per se möglichst ausschließen zu können. Daneben erfolgten in der einstündigen TE Übungen zur Erhöhung der Beweglichkeit, Koordination und Entspannungsfähigkeit.

Messungen

Der Status der Teilnehmerin (WB-EMS- oder aktive Kontrollgruppe) war für den Testleiter nicht ersichtlich; eine entsprechende Befragung wurde untersagt. Die Teilnehmerinnen wurden immer von demselben Testleiter/Messstation und zur selben Tageszeit (± 2 h) durchgeföhrt.

Anthropometrische Daten

Größe, Gewicht und Umfangswerte der Probandinnen wurden mit geeichten Geräten gemessen. Gesamte und regionale fettfreie Körpermasse und Körperfett wurden mittels DXA-Technik erfasst (Hologic QDR 4500a, Discovery-upgrade, Bedford, MI, USA). Als Basismessung diente ein Ganzkörperscan der gemäß den Vorgaben des Herstellers (16) durchgeföhrt, segmentiert und analysiert wurde. Die jeweilige Analyse der Gesamtkörperwerte erfolgte ohne die Schädel-ROI („subtotal“), sowie, bezogen auf die fettfreien Körpermasse, abzüglich der Knochenmasse. Die Segmentierung der Extremitäten zur Errechnung der apendikulären skeletalen Muskelmasse (ASMM) wurde gemäß Heymsfield et al. (15) durchgeföhrt. Als zusätzliche Regionen von Interesse (ROI) segmentierten und analysierten wir die Oberschenkelregion zwischen Unterkante Sitzbeinhöcker und Kniegelenksspalt.

Maximalkraft

Die isometrische Maximalkraft der Kniestrecker wurde mittels Beinpresse mit integrierter Kraftmessplatte (mtd-Systems, Neuburg v. Wald, Deutschland) ermittelt (Details in (25,39)).

Fragebogen

Basale soziodemographische Parameter, Lebensstil, Ernährungs-gewohnheiten, Erkrankungen und weitere gesundheitliche Risikofaktoren wurden mittels Fragebogen erfasst. Die Erfassung der körperlichen Aktivität und des Sporttreibens erfolgte ebenfalls mit-

tels standardisiertem knochenspezifischem Fragebogen (21). Der Abschlussfragebogen enthielt zusätzlich einen Abschnitt, in dem nochmals explizit auf Veränderungen beeinflussender Covariate, wie beispielsweise Medikamenteneinnahme, Veränderung der körperlichen Aktivität, der Ernährung oder (neu) auftretende Erkrankungen abgezielt wurden.

Ernährungsanalyse

Zu Beginn und zum Ende der Studie wurde die Ernährung der Teilnehmerinnen über ein 4-tägiges Ernährungsprotokoll erfasst und mittels einem ernährungswissenschaftlichen Programm Prodi-4,5/03 Expert (Wissenschaftlicher Verlag, Freiburg, Germany) ausgewertet.

Statistische Verfahren

Die formale Fallzahlanalyse der Untersuchung basierte auf dem Osteoporoseparameter „Knochendichte an der LWS“. Es erfolgte eine Intention-to-Treat Analyse, die alle Teilnehmerinnen mit 12-Monats Daten einschloss. Zur Berechnung statistischer Kennzahlen wurde das Computerprogramm SPSS 19 (SPSS Inc., Chicago IL, USA) eingesetzt. Die beschreibenden basalen Werte werden als Mittelwerte±Standardabweichung (SD) angegeben. Mittelwertsunterschiede innerhalb der WB-EMS- und der aKG zwischen den beiden Zeitpunkten (Deltawert der Veränderung) wurden bei Vorliegen der Zulässigkeit mit dem T-Test für abhängige Stichproben, ansonsten mittels parameterfreiem Wilcoxon-Rank-Test berechnet. Der longitudinale Unterschied zwischen den Gruppen („Effekt“) wurde bei Normalverteilung per Varianzanalyse mit Messwiederholung analysiert. War keine Normalverteilung gegeben, wurden die Unterschiede per parameterfreien Whitney-Mann-U-Test auf der Basis der absoluten Veränderungen analysiert. Ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wird als signifikant angesehen. Eine α -Fehleradjustierung wurde nicht vorgenommen. Um Effektstärken (ES) zu berechnen, wurde der Test (d') von Cohen (9) herangezogen.

ERGEBNISSE

Compliance, Drop-out und Verletzungen

Abb. 1 zeigt den „Flow-Chart“ für den Studienverlauf. Von den 38 Personen der WB-EMS-Gruppe nahmen 32 Personen („Drop-out“: 16%), von der aktiven Kontrollgruppe nahmen 28 Personen („Drop-out“: 26%) an der Abschlussuntersuchung teil und konnten in die ITT-„Finisher“ Analyse eingeschlossen werden. Insgesamt 6 Personen mussten aufgrund von schweren Erkrankungen (Tumor, HK-Erkrankungen) und Verletzungen (Frakturen) die Studie beenden. Zwei Personen der WB-EMS-Gruppen lehnten die WB-EMS-Applikation als unangenehm/schmerzhaft ab. Das leichte Trainingsprogramm der aKG wurde von 3 Teilnehmern abgelehnt. Eine Teilnehmerin der aKG gab an das Interesse an der Studie verloren zu haben. Zwei Personen verzogen weiträumig und konnte ebenso wie die oben genannten Personen nicht mehr für die Abschlussmessung gewonnen werden. Jeweils eine Person je Gruppe verstarb während des Interventionszeitraumes.

Die Teilnehmerate der WB-EMS-Gruppe betrug im Mittel $79 \pm 18\%$ (61,0 von 78TE), die korrespondierende Rate der aKG lag bei $74 \pm 33\%$ (14,8 von 20TE). Abgesehen von den zwei Teilnehmerinnen, welche die EMS-Applikation als unangenehm/schmerzhaft ablehnten (s.o.) ereigneten sich während der Trai-

Tabelle 3: Veränderungen ausgewählter Parametern mit Einfluss auf unsere Endpunkte in WB-EMS- und aktiven Kontrollgruppe. ¹4-tägiges Ernährungsprotokoll (WB-EMS: n=25; aKG: n=23), ²Indexwerte von 1 (sehr niedrig) bis 7 (sehr hoch); (22); ³... zwei und mehr Erkrankungen.

Variable	WB-EMS (n=32)	Kontrollgruppe (n=28)
Körpergewicht [kg] basal	57,7 ± 6,8	58,2 ± 6,3
Körpergewicht [kg] Follow-up (FU)	57,8 ± 7,0	58,1 ± 6,8
Energieaufnahme (kCal) basal ¹	1583 ± 432	1611 ± 398
Energieaufnahme (kCal) FU	1601 ± 412	1599 ± 419
Proteinaufnahme (g/d) basal ¹	57,6 ± 21,1	62,4 ± 19,4
Proteinaufnahme (g/d) FU	55,4 ± 18,8	60,9 ± 17,8
Vitamin-D Aufnahme [µg/d] basal ¹	4,7 ± 5,1	5,7 ± 6,9
Vitamin-D Aufnahme [µg/d] FU	4,9 ± 5,5	5,5 ± 5,2
Körperliche Aktivität [Index] ² basal	3,6 ± 1,6	3,4 ± 1,0
Körperliche Aktivität [Index] FU	3,5 ± 1,7	3,5 ± 1,3
Trainingsumfang [min/Wo.] basal	36,5 ± 26,7	33,1 ± 21,3
Trainingsumfang [min/Wo.] FU	33,1 ± 24,4	36,8 ± 25,4
Multimorbidität ³ [%] basal	63	61
Multimorbidität [%] FU	59	61

ningseinheiten keine unerwünschten Effekte wie bspw. Stürze oder Verletzungen.

Beeinflussende Parameter

Während des Interventionszeitraumes wurden keine wesentlichen oder gar signifikanten Veränderungen des Lebensstils, der Ernährung, der körperlichen Aktivität oder des Sporttreibens erfasst, die Einfluss auf unser Ergebnis zeigen könnten (Tab.3).

Bezogen auf Parameter, die in engem Zusammenhang mit unseren Endpunkten stehen, zeigte das Körpergewicht beider Gruppen im Mittel keine wesentliche Veränderung (WB-EMS: $-0,1 \pm 1,3$ vs. aKG: $-0,3 \pm 2,6$ kg, Tab.3).

Endpunkte

Tabelle 4 zeigt die Daten der primären Studienendpunkte „appendikuläre skeletale Muskelmasse“ (ASMM), „Muskelmasse der Oberschenkel-ROI“ und die sekundären Studienendpunkte „fettfreie Körpermasse“ (LBM), „Körperfettmasse“ und „Fettmasse der Oberschenkel-ROI“ in der Übersicht.

Die ASMM erhöhte sich in der WB-EMS Gruppe nicht signifikant ($p=0,322$) um $0,4 \pm 2,2\%$ und verringerte sich in der aKG signifikant ($p=0,015$) um $-1,5 \pm 3,1\%$. Die Muskelmasse der Oberschenkel-ROI veränderte sich in der WB-EMS-Gruppe um $0,5 \pm 2,8\%$ ($p=0,334$) und in der aKG um $-1,8 \pm 3,3\%$ ($p=0,005$). Für beide Muskelparameter wurde ein signifikanter Zwischengruppenunterschied ($p=0,005-0,009$, ES: $d' = 0,71-0,76$) mit jeweils günstigerer Veränderung in der WB-EMS-Gruppe nachgewiesen. Die LBM veränderte sich in der WB-EMS-Gruppe signifikant positiv ($p=0,014$; $0,8 \pm 1,8\%$), während die aKG eine nicht-signifikante ($p=0,121$) Reduktion um $-0,8 \pm 2,7\%$ zeigte. Der Unterschied zwischen den Gruppen erwies sich ebenfalls als signifikant ($p=0,008$, ES: $d' = 0,71$).

Die Körperfettmasse verringerte sich in beiden Gruppen nicht signifikant ($p < 0,055$) um $-0,9 \pm 8,1\%$ (WB-EMS) und $-0,4 \pm 9,8\%$ (aKG). Für das Körperfett zeigten sich ebenso wenig signifikante Zwischengruppenunterschiede ($p=0,865$) wie für die appendiku-

läre Fettmasse ($p=0,495$; WB-EMS: $-1,3 \pm 7,1\%$, $p=0,242$ vs. aKG: $0,0 \pm 9,9\%$, $p=0,977$; nicht in Tab.4). Auch die regionale Körperfettmasse der Oberschenkel-ROI zeigte bei jeweils geringer Veränderung keine signifikanten Zwischengruppenunterschiede ($p=0,459$; WB-EMS: $-0,8 \pm 5,6\%$, $p=0,357$ vs. aKG: $-0,3 \pm 6,2\%$, $p=0,840$). Tabelle 5 zeigt die isometrische Maximalkraft bei der Beinpresse. Die Kraft der Kniestrecker veränderten sich in der WB-EMS-Gruppe hochsignifikant ($9,8 \pm 12,9\%$; $p < 0,001$), während sich für die aKG keine wesentlichen Veränderungen nachweisen ließen ($0,2 \pm 10,4\%$, $p=0,969$). Der Unterschied zwischen WB-EMS und aKG erwies sich als signifikant ($p=0,003$).

DISKUSSION

Die vorliegende Untersuchung ist die erste Studie, welche die Effektivität einer WB-EMS-Applikation auf muskuläre Größen bei sportlich inaktiven, schlanken Frauen über dem 70. Lebensjahr evaluiert. Der Hintergrund unserer Untersuchung war pragmatisch. Unter der Prämisse, dass nur ein Bruchteil älterer Frauen (70-79 J; ca. 5%) der aktuellen Empfehlung zur körperlichen Aktivität nachkommt (35), können innovative, zeitsparende Trainingstechnologien möglicherweise einen effektiven und effizienten Beitrag zur Prävention und Therapie von Erkrankungen des höheren Lebensalters leisten. Tatsächlich belegt die Studie klar den positiven Effekt einer 12-monatigen WB-EMS-Intervention auf Kerngrößen der Sarkopenie und Frailty (4,10) bei dieser besonders gefährdeten Population. Neben der Untersuchung von Parametern der Körperzusammensetzung (LBM, Fettmasse) und Sarkopenie (ASMM, Muskelfunktion) war es ein sekundäres Ziel der Arbeit, den Einfluss auf den

Muskel-/Fettanteil und dessen trainingsinduzierte Veränderung an einer für diese Kohorte älterer Frauen besonders relevanten Körperregion (Oberschenkel ROI) (Es existierte eine regionale Verteilung der Sarkopenie. Die für Lokomotion, Sturz und Erhalt der Selbständigkeit besonders relevanten unteren Extremitäten sind dabei besonders betroffen (19)) zu evaluieren. Hintergrund dieser detaillierten Analyse war, dass der sarkopenische Muskelfaserverlust offensichtlich mit einer intramuskulären Infiltration von Fett und Bindegewebe einhergeht (sog. „Myosteatose“) (26,33,36), somit also die kontraktile Masse des Muskels deutlicher verringert wird als die Muskelgesamtmasse bzw. der Muskelquerschnitt. Obwohl unsere Messmethodik sicherlich nur sehr eingeschränkt geeignet ist (s.u.) dieser Frage nachzugehen, zeigen unsere Ergebnisse einen positiven WB-EMS Effekt für die Muskelmasse der Oberschenkel-ROI bei marginaler Reduktion der OS-(Gesamt)Fettmasse in beiden Gruppen (Tab.4).

Ein Vergleich der Effekte unserer Intervention mit den Effekten konventioneller Trainingsprotokolle erscheint auch unter der Prämisse interessant, dass beide Trainingsmethoden nicht alternativ/konkurrierend gesehen werden sollten, sondern die WB-EMS-Intervention eine Option für Menschen darstellt, die nicht in der Lage oder nicht Willens sind, konventionelle Trainingsprogramme durchzuführen. Vergleicht man also die Ergebnisse des vorliegenden WB-EMS-Programmes mit Krafttrainingsprotokollen älterer Menschen, so zeigt eine Literaturübersicht (32) mit ausgewählten Interventionsstudien, die ebenfalls mittels DXA-Technik Muskelparameter (LBM, ASMM) erfasst haben, durchaus vergleichbare positive Veränderungen. Auch bei Auswahl hochintensiver (>70% 1RM) Belastungsprotokolle (bspw. (1,7,30,31)) liegen unsere Ergebnisse für LBM und ASMM durchaus im Rahmen der vorliegenden Literatur (DXA). Eine direkte Gegenüberstellung der Daten der 18-monatigen multidimensionalen SEFIP-Studie (25) mit intensiver Krafttrainingssequenz, die von unserer Arbeitsgruppe im Vorfeld durchgeführt wurde, und der vorliegenden WB-EMS-Studie zeigt bei identischem Messverfahren und einer vergleichbaren Kohorte (Frauen, 69 ± 4 Jahre), allerdings mit deutlich höherem BMI ($26,4 \pm 4,2 \text{ kg/m}^2$) und höherer Sportpartizipationsrate, ähnliche positive Nettoeffekte auf ASMM (WB-EMS: 294 g, $p=0,009$, ES: 0,71 vs. SEFIP: 299 g, $p=0,007$, ES: 0,36) und LBM: (WB-EMS: 568 g, $p=0,008$, ES: 0,71 vs. SEFIP: 509 g, $p=0,008$, ES: 0,35).

Einige Stärken, Besonderheiten und Limitationen sollten vom Leser bei der Interpretation unserer Ergebnisse berücksichtigt werden.

(1) Die methodische Qualität der Studie ist als relativ hoch anzusehen (vgl. (18,28)). Design und vorliegendes „Reporting“ orientierten sich konsequent an den Vorgaben des „Revised Consort-Statement“.

Tabelle 4: Effekt der Intervention(en) auf die Körperzusammensetzung in WB-EMS und aktiven Kontrollgruppe. MV: Mittelwert, SD: Standardabweichung, CI: Konfidenzintervall.

	WB-EMS (MV \pm SD)	aKG (MV \pm SD)	Absolute Differenz MV (95%-CI)	p	Effekt- Stärke (d')
Appendikuläre skeletale Muskelmasse (ASMM) [g]					
basal	15804 \pm 2123	15851 \pm 1721	----	----	----
14 Wochen	15866 \pm 2120	15618 \pm 1877	----	----	----
Unterschied	62 \pm 346	-233 \pm 475	294 (82 bis 508)	0,009	0,71
Muskelmasse Oberschenkel [g]					
basal	7552 \pm 1124	7719 \pm 822	----	----	----
14 Wochen	7591 \pm 1121	7583 \pm 923	----	----	----
Unterschied	39 \pm 223	-136 \pm 237	175 (56 bis 293)	0,005	0,76
Lean Body Mass (LBM) [g]					
basal	35151 \pm 4320	35419 \pm 3520	----	----	----
14 Wochen	35424 \pm 4403	35124 \pm 3595	----	----	----
Unterschied	273 \pm 589	-296 \pm 977	568 (157 bis 979)	0,008	0,71
Körperfettmasse [g]					
basal	18087 \pm 4969	18699 \pm 3216	----	----	----
14 Wochen	17946 \pm 4843	18631 \pm 4372	----	----	----
Unterschied	-141 \pm 1349	-67 \pm 1739	74 (-787 bis 934)	0,865	0,05
Fettmasse Oberschenkel [g]					
basal	4833 \pm 1103	4622 \pm 936	----	----	----
14 Wochen	4794 \pm 1127	4610 \pm 1006	----	----	----
Unterschied	-39 \pm 221	-12 \pm 357	27 (-136 bis 177)	0,759	0,09

ments“ (2) für randomisierte kontrollierte Untersuchungen.

(2) Die Studie zeichnet sich durch ein homogenes Kollektiv selbständig lebender, sportlich weitgehend inaktiver und „schlanker“ Frauen über dem 70. Lebensjahr aus. Die rekrutierten Frauen liegen bezogen auf bundesdeutsche Werte in niedrigsten Quartil alters- (70-79 Jahre) und geschlechtsbezogenen BMI-Werte (6,12).

Trotzdem wiesen in diesem, eigentlich für eine Sarkopenie „prädestinierten“ Kollektiv lediglich drei Personen je Gruppe (8%) eine Sarkopenie gemäß Baumgartner (ASMM/Körpergröße² < 5,45 kg/m²) (5) auf. Bei zusätzlichem Zugrundelegen der funktionellen Parameter (Gehgeschwindigkeit < 0,8 bzw. 1,0 m/sec; „Grip-strength“ (Handkraft) < 20 kg) neuerer Sarkopenie-Definitionen (11, 13) verringert sich die Anzahl nochmals (Tab. 1).

(3) Covariate wie Medikation, Krankheiten, Änderungen im Ernährungsverhalten, Lebensstil körperliche Aktivität verändern sich über den Studienverlauf kaum und beeinflussten somit unser Studienergebnis nicht wesentlich.

(4) Die gewählte DXA-Methoden erfasst die fokussierten Endpunkte LBM, ASMM und Körperfett valide und reliabel (u.a. Chen et al. (8)). Zur differenzierten Erfassung der Veränderung der Gewebszusammensetzung des Muskels ist die DXA-Methode allerdings nicht geeignet. Auf die entsprechend nötigen computer- oder kernspintomographischen Verfahren verzichteten wir aufgrund der derzeit (noch) nicht ausreichend validierten Segmentierungssoftware zur Quantifizierung des intramuskulären Fettanteils.

(5) Die WB-EMS Gruppen wurden durch einen Übungsleiter konsequent angeleitet und betreut. Die zeitgleich zur Stromapplikation abgestimmte Videoanimation erleichterte die Trainingsdurchführung durch die Visualisierung der Bewegungsausführung der Körperübung. Der Übungsleiter achtete streng auf eine adäquat hohe (s.o.) Stromstärke des Übenden. Da jedoch Körperwahrnehmung und Belastungsempfinden/-Einschätzung unseres sportlich inaktiven Kollektivs u.E. nach defizitär entwickelt war, ist es wahrscheinlich, dass einige Teilnehmerinnen mit einer zu geringen Reizhöhe gearbeitet haben.

(6) Die Durchführung der wenig intensiven Körperübung zur Einschätzung des isolierten WB-EMS-Effektes könnte in dieser Kontrollgruppe sportlich inaktiver Frauen möglicherweise doch zu positiven Veränderungen geführt haben. Dies beeinflusst unser Ergebnis jedoch lediglich durch einen geringeren Zwischengruppenunterschied und somit einen möglicherweise diskreteren Effekt.

(7) In Anbetracht der geringen Neigung des ausgewählten Kollektivs zu sportlichen Aktivitäten, kann die Akzeptanz (vgl. Drop-out und Anwesenheitsraten) des 12-monatigen WB-EMS-Trainings als relativ hoch eingeordnet werden (29) (Die Autoren listen für konventionelle Trainingsstudien mit ähnlicher Dauer (6-18 Monate) Drop-out Werte von 2-27% und „Attendantenraten“ von 67-99% auf). Ob dies auf die WB-EMS Applikation per se oder auf den hohen Grad der Betreuung und Interaktion in den Kleingruppen zurückzuführen ist, konnte über die Fragebogen nicht abschließend geklärt werden.

Obwohl wir die WB-EMS-Applikationen durch Ihre Fokussierung auf muskuläre Parameter keinesfalls als gleichwertige Option zu einem multidimensionalen konventionellen Übungsprogramm für den multimorbiden älteren Menschen sehen, scheint der Ein-

Tabelle 5: Effekt der Intervention(en) auf die Muskelkraft der Beinstrecker in WB-EMS und aktiver Kontrollgruppe. MV: Mittelwert, SD: Standardabweichung, CI: Konfidenzintervall.

	WB-EMS (MV ± SD)	aKG (MV ± SD)	Absolute Differenz MV (95% CI)	p	Effekt- Stärke (d')
Beinkraft (Beinpresse) [N]					
basal	604 ± 185	523 ± 171	----	----	----
14 Wochen	664 ± 214	524 ± 194	----	----	----
Unterschied	59,4 ± 72,7	0,8 ± 69,7	58,6 (20,7 bis 97,2)	0,003	0,82

satz im Spannungsfeld „Sarkopenie und Frailty“ besonders vor dem Hintergrund sinnvoll und gerechtfertigt, dass viele ältere Menschen für ein konventionelles Training ganz offensichtlich nicht zu gewinnen sind (35). Vorbehalte gegen ein WB-EMS-Programm wie insbesondere hohe Kosten durch Geräteanschaffung und betreutes Training in Kleingruppen werden durch den Hinweis auf den umfangreicheren Gerätpark bei konventionellem Krafttraining und auf die hohe (zeitliche) Effektivität des WB-EMS-Training (Das Trainingsvolumen betrug in der vorliegenden Studie effektiv 24 min/Wo. (Vorgabe: 1,5 TE/Wo. à 20 min). Die Mehrzahl der konventionellen Krafttrainingsstudien gibt mit 3 TE/Wo. à 45-60 min einen wesentlich höheren Trainingsumfang vor (32)) relativiert. Obwohl eine personelle Betreuung des hier fokussierten Kollektivs älterer, wenig technikaffinen Menschen mit geringer Bewegungserfahrung unserer Erfahrungen nach unverzichtbar bleibt, kann durch verbesserte Programmführung, Videoanimation, Rückmeldeprozess zur Bewegungsausführung und optimierte WB-EMS Ausrüstung ein höherer Betreuungsschlüssel und somit eine Kosteneinsparung im Personalsektor generiert werden.

Abschließend und zusammenfassend halten wir nach Abwägung der Stärken und Limitationen dieser Technologie die Ganzkörper-Elektromyostimulation zumindest unter den von uns erprobten Rahmenbedingungen für geeignet, einen effektiven und effizienten Beitrag zur Prävention und Therapie der Sarkopenie und deren Auswirkungen zu leisten.

Für die Bereitstellung der WB-EMS-Ausrüstung bedanken wir uns herzlich beim Hersteller miha bodytec (Augsburg, Deutschland). Dem Verein Netzwerk Knochengesundheit e.V. Erlangen danken wir für die Übernahme der Übungsleiterkosten. Bei Rottapharm/Madaus (Cologne, Germany), die unentgeltlich die Kalzium-/Vitamin-D-Präparate bereitstellten, möchten wir uns ebenfalls ganz herzlich bedanken. Ansonsten wurde für die vorliegende Studie von Dritten keinerlei Mittel zur Verfügung gestellt.

LITERATUR

1. **ADES PA:** Cardiac rehabilitation and secondary prevention of coronary heart disease. *N Engl J Med* 345 (2001) 892-902. doi:10.1056/NEJM-ra001529.
2. **ALTMAN DG, SCHULZ KE, MOHER D, EGGER M, DAVIDOFF F, ELBOURNE D, GOTTSCHKE PC, LANG T:** The revised CONSORT statement for reporting randomized trials: explanation and elaboration. *Ann Intern Med* 134 (2001) 663-694.
3. **BAUER JM, SIEBER CC:** Sarcopenia and frailty: A clinicians controversial point of view. *Exp Gerontol* 43 (2008) 674-678. doi:10.1016/j.exger.2008.03.007.
4. **BAUER JM, SIEBER CC:** Sarcopenia and frailty: A clinician's controversial point of view. *Exp Gerontol* 43 (2008) 674-678. doi:10.1016/j.exger.2008.03.007.
5. **BAUMGARTNER RN, KOEHLER KM, GALLAGHER D, ROMERO L, HEYMSFIELD SB, ROSS RR, GARRY PJ, LINDEMAN RD:** Epidemiology of sarco-

- penia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol* 147 (1998) 755-763. doi:10.1093/oxfordjournals.aje.a009520.
6. BENECKE A, VOGEL H: Übergewicht und Adipositas. Robert-Koch-Institut, 2003. Report No.: 16.
 7. BINDER EF, YARASHESKI KE, STEGER-MAY K, SINACORE DR, BROWN M, SCHECHTMAN KB, HOLLOSZY JO: Effects of progressive resistance training on body composition in frail older adults: results of a randomized, controlled trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60 (2005) 1425-1431. doi:10.1093/gerona/60.11.1425.
 8. CHEN Z, WANG Z, LOHMAN T, HEYMSFIELD SB, OUTWATER E, NICHOLAS JS, BASSFORD T, LACROIX A, SHERRILL D, PUNYANITYA M, WU G, GOING S: Dual-energy X-ray absorptiometry is a valid tool for assessing skeletal muscle mass in older women. *J Nutr* 137 (2007) 2775-2780.
 9. COHEN J: Statistical power analysis for the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Associate, Hillsdale, NJ 1988.
 10. COOPER C, DERE W, EVANS W, KANIS JA, RIZZOLI R, SAYER AA, SIEBER CC, KAUFMAN JM, ABELLAN VAN KAN G, BOONEN S, ADACHI J, MITLAK B, TSOUDEROS Y, ROLLAND Y, REGINSTER JY: Frailty and sarcopenia: definitions and outcome parameters. *Osteoporos Int* 23 (2012) 1839-1848. doi:10.1007/s00198-012-1913-1.
 11. CRUZ-JENTOF T AJ, BAEYENS JP, BAUER JM, BOIRIE Y, CEDERHOLM T, LANDI F, MARTIN FC, MICHEL JP, ROLLAND Y, SCHNEIDER SM, TOPINKOVA E, VANDEWOUDE M, ZAMBONI M: Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing* 39 (2010) 412-423. doi:10.1093/ageing/afq034.
 12. DESTATIS: Verteilung der Bevölkerung auf Body-Mass-Index-Gruppen in Prozent. 2012.
 13. FIELDING RA, VELLAS B, EVANS WJ, BHASIN S, MORLEY JE, NEWMAN AB, ABELLAN VAN KAN G, ANDRIEU S, BAUER J, BREUILLE D, CEDERHOLM T, CHANDLER J, DE MEYNARD C, DONINI L, HARRIS T, KANNT A, KEIME GUIBERT F, ONDER G, PAPANICOLAOU D, ROLLAND Y, ROOKS D, SIEBER C, SOUHAMI E, VERLAAN S, ZAMBONI M: Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc* 12 (2011) 249-256. doi:10.1016/j.jamda.2011.01.003.
 14. FRITZ S, LUSARDI M: White paper: "walking speed: the sixth vital sign. *J Geriatr Phys Ther* 32 (2009) 46-49. doi:10.1519/00139143-200932020-00002.
 15. HEYMSFIELD SB, SMITH R, AULET M: Appendicular Skeletal Muscle Mass: Measurement by Dual-Photon Absorptiometry. *Am J Clin Nutr* 52 (1990) 214-218.
 16. HOLOGIC I: QDR 4500a - Users Guide. Manual. Hologic Inc., Waltham, 1996.
 17. HUNTER GR, TREUTH MS: Relative training intensity and increases in strength in older women. *J Strength Cond Res* 9 (1995) 188-191.
 18. JADAD AR, HAYNES RB, HUNT D, BROWMAN GP: The Internet and evidence-based decision-making: a needed synergy for efficient knowledge management in health care. *CMAJ* 162 (2000) 362-365.
 19. JANSSEN I, HEYMSFIELD SB, WANG ZM, ROSS R: Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol* 89 (2000) 81-88.
 20. KEMMLER W, BIRLAUF A, VON STENGEL S: Einfluss von Ganzkörper-Elektromyostimulation auf das Metabolische Syndrom bei älteren Männern mit metabolischem Syndrom. *Dtsch Z Sportmed* 61 (2010) 117-123.
 21. KEMMLER W, WEINECK J, KALENDER WA, ENGELKE K: The effect of habitual physical activity, non-athletic exercise, muscle strength, and VO_{2max} on bone parameters is rather low in early osteopenic postmenopausal women. *J Muskuloskel Neuron Interact* 4 (2004) 325-334.
 22. KEMMLER W, WEINECK J, KALENDER WA, ENGELKE K: The effect of habitual physical activity, non-athletic exercise, muscle strength, and VO_{2max} on bone mineral density is rather low in early postmenopausal osteopenic women. *J Muskuloskelet Neuron Interact* 4 (2004) 325-334.
 23. KEMMLER W, SCHLIFFKA R, MAYHEW JL, VON STENGEL S: Effects of Whole-Body-Electromyostimulation on Resting Metabolic Rate, Anthropometric and Neuromuscular Parameters in the Elderly. The Training and ElectroStimulation Trial (TEST). *J Strength Cond Res* 24 (2010) 1880-1886. doi:10.1519/JSC.0b013e3181ddae.
 24. KEMMLER W, VON STENGEL S, SCHWARZ J, MAYHEW JL: Effect of whole-body electromyostimulation on energy expenditure during exercise. *J Strength Cond Res* 26 (2012) 240-245. doi:10.1519/JSC.0b013e31821a3a11.
 25. KEMMLER W, VON STENGEL S, ENGELKE K, HABERLE L, MAYHEW JL, KALENDER WA: Exercise, body composition, and functional ability: a randomized controlled trial. *Am J Prev Med* 38 (2010) 279-287. doi:10.1016/j.amepre.2009.10.042.
 26. KENT-BRAUN JA, NG AV, YOUNG K: Skeletal muscle contractile and non-contractile components in young and older women and men. *J Appl Physiol* 88 (2000) 662-668.
 27. LATHAM N, ANDERSON C, BENNETT D, STRETTON C: Progressive resistance strength training for physical disability in older people. *Cochrane Database Syst Rev* (2003) CD002759.
 28. MAHER CG, SHERRINGTON C, HERBERT RD, MOSELEY AM, ELKINS M: Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther* 83 (2003) 713-721.
 29. MARQUES EA, MOTA J, CARVALHO J: Exercise effects on bone mineral density in older adults: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Age (Dordr)*, 2011.
 30. MARQUES EA, MOTA J, MACHADO L, SOUSA F, COELHO M, MOREIRA P, CARVALHO J: Multicomponent training program with weight-bearing exercises elicits favorable bone density, muscle strength, and balance adaptations in older women. *Calcif Tissue Int* 88 (2011) 117-129. doi:10.1007/s00223-010-9437-1.
 31. NELSON ME, FIATARONE MA, LAYNE JE, TRICE I, ECONOMOS CD, FIELDING RA, MA R, PIERSON RN, EVANS WJ: Analysis of body-composition techniques and models for detecting change in soft tissue with strength training. *Am J Clin Nutr* 63 (1996) 678-686.
 32. PETERSON MD, SEN A, GORDON PM: Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 43 (2011) 249-258. doi:10.1249/MSS.0b013e3181eb6265.
 33. SIPILA S, SUOMINEN H: Knee extension strength and walking speed in relation to quadriceps muscle composition and training in elderly women. *Clin Physiol* 14 (1994) 433-442. doi:10.1111/j.1475-097X.1994.tb00402.x.
 34. SITJA-RABERT M, RIGAU D, FORT VANMEERGHAE GHE A, ROMERO-RODRIGUEZ D, BONASTRE SUBIRANA M, BONFILL X: Efficacy of whole body vibration exercise in older people: a systematic review. *Disabil Rehabil* 34 (2012) 883-893. doi:10.3109/09638288.2011.626486.
 35. STATISTISCHES BUNDESAMT: Gesundheit in Deutschland. Berlin, 2006.
 36. TAAFFE DR, HENWOOD TR, NALLS MA, WALKER DG, LANG TF, HARRIS TB: Alterations in muscle attenuation following detraining and retraining in resistance-trained older adults. *Gerontology* 55 (2009) 217-223. doi:10.1159/000182084.
 37. TESCH-RÖMER C: Gesundheit im Alter: Schicksal, soziale Schicht oder Verhalten? Berlin, 2007.
 38. VON STENGEL S, KEMMLER W, ENGELKE K: Ganzkörpervibration - ein neuer Ansatz in der Osteoporoseprävention? *Osteologie* 17 (2008) 24-30.
 39. VON STENGEL S, KEMMLER W, BEBENEK M, ENGELKE K, KALENDER W: Einfluss eines Ganzkörper-Vibrationstrainings auf unterschiedlichen Geräten auf die Knochendichte und Parameter der neuromuskulären Leistungsfähigkeit postmenopausaler Frauen. *Dtsch Z Sportmed* 60 (2009) 228.
 40. WIESNER G, BITTNER E: Zur Inzidenz und Prävalenz von Mehrfachkrankheiten in Deutschland. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 40 (2005) 490-498.

Korrespondenzadresse:

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