



## **Abschlussbericht**

### **Effekt von Ganzkörper-Elektromyostimulation auf physiologische und muskuläre Parameter älterer Menschen.**

**Der Training and ElectroStimulation Trial (TEST).**

**WOLFGANG KEMMLER, REBECCA SCHLIFFKA, SIMON VON STENDEL**

**Institut für Medizinische Physik, Universität Erlangen Nürnberg**

#### **Einleitung**

Adipositas, Sarkopenie und die damit einhergehende Reduktion der funktionellen Kapazität stehen mit dem Verlust der Unabhängigkeit des älteren Menschen in enger Verbindung (1, 10). Besonders bei Frauen kommt es nach der Menopause zu erheblichen Veränderungen der Körperzusammensetzung mit Erhöhung des Körperfetts insbesondere im abdominalen Bereich und einer korrespondierenden Reduktion der Muskelmasse (12), Faktoren die zu einer erhöhten Morbidität und Mortalität beitragen (7). Weitgehend parallel zu diesem Rückgang der Muskelmasse kommt es zu einem Verlust der Muskelkraft der nach dem 60. Lebensjahr je Dekade ca. 15%, nach dem 80. Lebensjahr ca. 30% (10) beträgt. Eine Vielzahl von Untersuchungen zeigen jedoch, dass sowohl die Erhöhung des Körperfettgehaltes, der Verlust an Muskelmasse wie auch die Reduktion der Muskelkraft auch in höherem Lebensalter durch ein körperliches Training reversibel sind (8, 24). Insbesondere bei älteren Menschen mit orthopädischen und kardialen Beschwerden erscheint jedoch ein konventionelles Training, das zur Realisierung relevanter Effekte bspw. auf Maximalkraft, -leistung und Muskelmasse eine vergleichsweise hohe Reizintensität von  $\geq 70\%$  des Einwiederholungsmaximums (1 RM) benötigt, (13) nicht angezeigt. Als Alternative mit geringer orthopädischer und kardialer Belastung (30) bei vergleichsweise niedrigem Trainingsvolumen zeichnet sich derzeit das Ganzkörper-Elektromyostimulationstraining ab. Obgleich einige longitudinale Studien mit älteren Menschen im Bereich lokaler Elektromyostimulation vorliegen (u.a. (2, 19, 20, 28)), ist die Akzeptanz dieser Trainingsform seitens des Anwenders nicht bekannt.

Ziel der vorliegenden Pilotstudie war es somit, zum einen die Anwend- und Durchführbarkeit eines Ganzkörper-Elektromyostimulationstrainings (ES) bei älteren Menschen zu erfassen und zum anderen die Effektivität dieser Trainingsform auf anthropometrische, physiologische und muskuläre Größen zu determinieren. Unsere Hypothese ist dabei, dass ein ES-Training im von uns gewählten Trainingsmodus signifikante Effekte (hier: Zwischengruppenunterschiede zwischen ES- und konventionell trainierender Kontrollgruppe) auf die Parameter „Ruheumsatz“ (primärer Endpunkt), subkutanes Körperfett, Taillen- und Hüftumfang sowie die Kraftfähigkeit der Rumpf- und Beinmuskulatur ausübt.

## Material und Methoden

Die Test-Studie ist eine 14-wöchige, randomisierte Pilotstudie mit spät-postmenopausalen Frauen. Die Untersuchung wurde von der Ethikkommission der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (Ethik Antrag 3777) überprüft und genehmigt. Alle Teilnehmerinnen gaben vor Beginn der Untersuchung ihre schriftliche Einwilligung. Die Untersuchung wurde im Zeitraum von April 2008 bis August 2008 durch das Institut für Medizinische Physik der Friedrich-Alexander Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg durchgeführt.

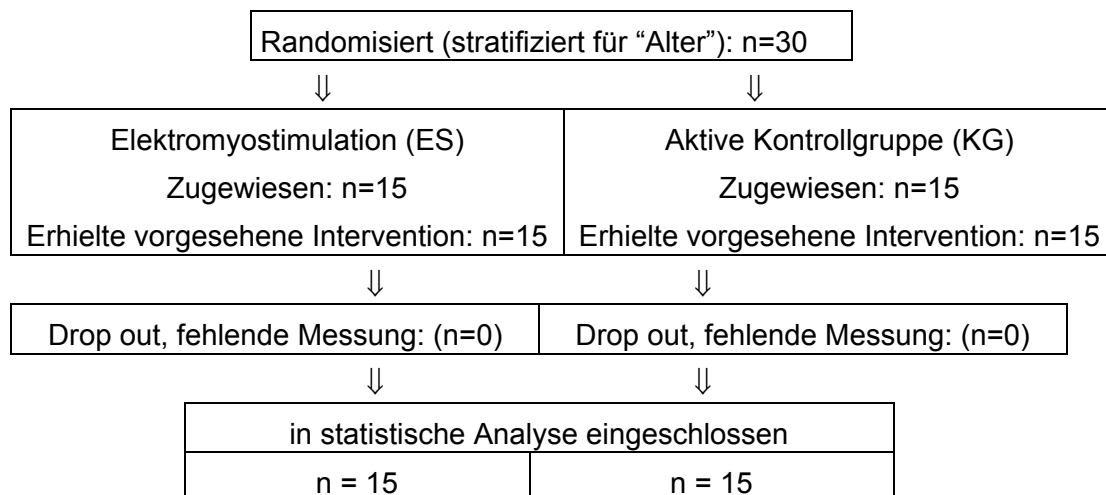


Abbildung 1: Flow Chart der TEST-Studie.

Insgesamt 30 weibliche Mitglieder des Vereins Netzwerk Knochengesundheit e.V. aus der Region Erlangen wurden nach Anwendung der unten aufgeführten initialen Ein- und Ausschlusskriterien in die TEST-Untersuchung aufgenommen:

### Einschlusskriterien:

- >55 Jahre Lebensalter, weiblich, unabhängig lebend
- Krafttrainingserfahrung seit > 30 Monate

### Ausschlusskriterien:

- Epilepsie
- Herzschrittmacher
- Schwere Durchblutungsstörungen
- Bauchwand- und Leistenhernie
- Tuberkulose
- Tumor-Erkrankung
- Schwere neurologische Erkrankungen
- Fieberhafte Erkrankungen, akute bakterielle und virale Infekte
- Blutungen, starke Blutungsneigung
- Hautverletzungen im Bereich der Elektroden
- Medikamente oder Erkrankungen mit Auswirkungen auf den Muskelmetabolismus

Die Gesamtstichprobe wurde mittels Randomisierung unter Beachtung des Lebensalters gleichmäßig auf 2 Subgruppen (Abb. 1) verteilt. Die ES-Gruppe fügte zusätzlich zu einem

Ausdauer- und progressiven dynamischen Krafttraining das unten beschrieben ES-Training durch, während die Kontrollgruppe aufgefordert wurde das bisherige Training (16, 18) weiter konsequent durchzuführen. Tabelle 1 zeigt die basalen Charakteristika von ES und Kontrollgruppe.

Variable	ESG (n=15)	KG (n=15)	p
Lebensalter [Jahre]	65.6 ± 5.6	63.3 ± 5.4	n.s.
Grösse [cm]	160.8 ± 5.4	162.2 ± 6.6	n.s.
Gewicht [kg]	70.4 ± 12.0	64.9 ± 10.9	n.s.
Gesamtkörperfett [%] <sup>1</sup>	37.9 ± 4.8	35.0 ± 2.7	*
Menopausenalter [Jahre] <sup>2</sup>	48.9 ± 5.2	47.9 ± 4.1	n.s.
Energieaufnahme [kJ/d] <sup>3</sup>	7689 ± 1722	7824 ± 1640	n.s.
Proteinaufnahme [g/d] <sup>3</sup>	65 ± 17	71 ± 21	n.s.
Trainingsumfang [min/week] <sup>2</sup>	179 ± 58	147 ± 43	n.s.
VO <sub>2</sub> peak [ml/kg/min] <sup>4</sup>	27.1 ± 4.1	26.9 ± 4.2	n.s.
Raucher [% per Gruppe] <sup>2</sup>	13.3	20.0	n.s.
Diabetes [% per Gruppe] <sup>2</sup>	6.6	6.6	n.s.
Bluthochdruck [% per Gruppe] <sup>2</sup>	40.0	26.6	n.s.
Schilddrüsendysfunktion [% per Gruppe] <sup>2</sup>	33.3	33.3	n.s.
Osteoporose [% per Gruppe] <sup>2</sup>	26.7	20.0	n.s.
Multimorbidität [% per Gruppe] <sup>5</sup>	53.3	46.7	n.s.

Tab. 1: Basale Characteristica der TEST-Kohorte. Elektrostimulation (ESG) vs. Kontrollgruppe (KG). <sup>1</sup> nach Durnin/Wormserley (9); <sup>2</sup> Eingangsfragebogen; <sup>3</sup> 4-tägiges Ernährungsprotokoll; <sup>4</sup> Ergospirometrie, Laufband-Stufentest bis zur subjektiven Ausbelastung; <sup>5</sup> zwei und mehr Erkrankungen.

### Ausdauer- und dynamisches Krafttraining

Das dynamische Krafttraining wurde bereits in unterschiedlichen Veröffentlichungen vorgestellt (16, 18), sodass hier nur eine kurze Zusammenfassung erfolgen soll.

Während der 14-wöchigen Interventionsphase erfolgte nach einer 20 minütigen Aufwärmphase (70-80% HFmax, Low- und High-Impact Aerobic) ein progressives dynamisches Krafttraining an Geräten (12 Übungen, 1-3 Sätze, 6-12 Wdh. bei 70-85% des Einwiederholungsmaximums sowie ein funktionsgymnastisches Training, das an zwei nicht aufeinander folgenden Tagen pro Woche durchgeführt wurde. Alle Teilnehmerinnen führten Trainingstagebücher, um Rückschlüsse auf die Häufigkeit und Vollständigkeit der Trainingsdurchführung zu gewinnen.

### Elektromyostimulations-Training

Die ES Gruppe absolvierte zusätzlich zum oben beschriebenen Training alle 4-5 Tage ein Training mit Ganzkörperstimulationswesten (miha bodytec, Emersacker, Deutschland). Jeweils zwei Probanden führten parallel ein ca. 20 minütiges standardisiertes Training unter Überwachung und Anleitung jeweils desselben Übungsleiters durch.

Die Ausrüstung macht eine gleichzeitige Ansteuerung von 10 Muskelgruppen möglich.. Die ES Gruppe absolvierte zusätzlich zum oben beschriebenen Training alle 4-5 Tage ein Training mit Ganzkörperstimulationswesten (miha bodytec, Emersacker, Deutschland). Die Ausrüstung

ermöglicht eine gleichzeitige Ansteuerung von 10 Muskelgruppen. Jeweils zwei Probanden führten parallel ein ca. 20 minütiges standardisiertes Training unter Überwachung und Anleitung jeweils desselben Übungsleiters durch. Es wurden zwei Programme mit den folgenden Belastungsparametern über jeweils 10 min durchgeführt:

Programm 1:

- Frequenz: 85Hz
- Impulsdauer: 4 sec
- Impulspause: 4 sec
- Impulsanstieg: 0 sec
- Pulsbreite: 350  $\mu$ s
- Impulsart: bipolar

Programm 2:

- Frequenz: 7Hz
- Impulsdauer: kontinuierlich
- Pulsbreite: 350  $\mu$ s
- Impulsart: bipolar

Ca. 15 isometrische und dynamische Übungen für alle grossen Muskelgruppen wurden während der Elektromyostimulation im Stehen durchgeführt.

Abbildung 2.: Ganzkörper-Elektromyostimulationsweste mit Manschetten

## Messungen

Die Messungen wurden vor sowie unmittelbar nach dem 14wöchigem Interventionszeitraum jeweils zur selben Uhrzeit ( $\pm 1$  h) von jeweils demselben Untersucher durchgeführt.

Körpergewicht und Körpergröße sowie Umfangs- und Längenwerte unterschiedlicher Körperregionen wurden über entsprechende Messungen an geeichten Geräten ermittelt.

Die Hautfaltendicke an insgesamt 11 Meßpunkten (tragus, Mundbogen, Achselfalte, subscapularis, 10. Rippe, abdominal, supraillacus, suprapatella, biceps barchii, triceps brachii, gastrocnemius) wurde mittel Lange-Kaliper (Cambridge, Maryland, USA) erfasst. Die Messungen wurden zweimal unmittelbar hintereinander durchgeführt, die Werte wurden ggf. gemittelt. Der in Tabelle 1 angegebene Körperfettgehalt wurde mittels der Formel von Durnin/Wormserley (9) berechnet.

Die Ruheumsatzmessungen wurden nach mindestens 12-stündigem Fasten jeweils in der Zeit zwischen 7:00 bis 9.00 bei jeweils 23° C Raumtemperatur durchgeführt. Am Tag vor der

Ruheumsatzmessung sollten keine anstrengenden körperlichen Aktivitäten oder ein sportliches Training stattfinden. Weiterhin wurden die Teilnehmerinnen angewiesen für die Anfahrt das Auto oder öffentlichen Verkehrsmitteln zu nutzen. Nach einem 15 minütigem ruhigen Liegen in Rückenlage erfolgte die Erfassung des Ruheumsatz durch Ermittlung der mittleren Sauerstoffaufnahme kontinuierlich über 15 Minuten mit einem offenen spirometrischen System (Oxycon mobile, Conshohocken, USA). Die Reliabilität der Messung wurde im Rahmen einer Pilotstudie mit 4 Personen mit jeweils 4 Messungen über 14 Tage mit identischen Rahmenbedingungen erfasst. Der Variationskoeffizient lag dabei bei 4.1%.

Eine genaue Testbeschreibung der Maximalkrafttests wurde schon mehrfach veröffentlicht (17, 16) sodass hier nur eine kurze Beschreibung erfolgen soll. Die isometrische Maximalkraft der Rumpfflexoren und -extensoren wurden in sitzender Position mit einem Schnell M3 Testgerät (Schnell, Peutenhausen, Deutschland) erfasst. Die maximale isometrische Kraft der Beinextensoren sowie deren korrespondierende Leistung bei maximal schneller „Bewegungsausführung“ wurden mittels Kraftmessplatten (MTD-Systems, Neuburg v. Wald, Germany) in der Übung „Beinpresse“ gemessen. Je Testübung wurden zwei Tests durchgeführt, der bessere der beiden Tests wurde gewertet. Lagen beide Werte mehr als 5% auseinander, erfolgt ein weiterer Testdurchgang. Als Pause zwischen zwei Durchgängen wurde eine Zeitdauer von 40 Sekunden gewählt. Motivationshilfen wurden nicht geleistet.

Die Sprungkraft wurde durch einen Counter-Movement-Jump“ (CMJ) mittels Kraftmessplatte (MTD-Systems, Neuburg v. Wald, Germany) ermittelt. Der Sprung erfolgte mit Aushol- bzw. Auftaktbewegung mit in der Hüfte abgestemmtten Händen. Als Maß für die Schnellkraft wurde die maximale Leistung in Watt/kg während des Abdrucks ermittelt. Die Reliabilität wurde über Doppelmessungen (n=80) im Abstand von 1 min überprüft. Der Variationskoeffizient lag dabei bei 5.5%.

Der Fragebogen gliederte sich in mehrere Punkte. In Teil 1 wurden anthropometrische und soziodemographische Faktoren abgefragt. Teil 2 fragte Erkrankungen und Risikofaktoren dieses postmenopausalen Frauenkollektivs ab. Schmerzhäufigkeit und -intensität an unterschiedlichen Skelettregionen (HWS, BWS, LWS, kleine Gelenke, große Gelenke) wurde in Teil 3 abgefragt. Dieser Teil des Fragebogens wurde in einer früheren Studie (15) validiert. Zusätzlich wurde zur Erfassung der Lebensqualität der SF 36 eingesetzt. Der Kontrollfragebogen enthielt neben Abschnitten zur Erfassungen der Schmerzen und Lebensqualität (SF 36) einen Abschnitt in dem Veränderungen von das Ergebnis möglicherweise beeinflussenden Covariaten (Medikamente, körperliche Belastung, Ernährung, Erkrankungen) abgefragt wurden.

Die Compliance mit dem ES-Trainingsregime wurde nach 6 und 14 Wochen mittels fragebogengestützter Interviews erfasst. Die Teilnehmer sollten die Reizhöhe des ES-Trainings an den unterschiedlichen belasteten Regionen sowie die mittlere Belastungs-intensität der Trainingseinheit auf einer Ratingskala von 1 (sehr niedrig) bis 7 (sehr hoch) einschätzen.

### **Statistische Verfahren**

Die formale Fallzahlanalyse der Untersuchung erfolgte auf der Basis des Endpunktes „Ruheumsatz“. Die Anzahl der jeweiligen Teilnehmer je Gruppe (n=15) erlaubt mit 80% statistischer Power ein Signifikanzniveau von 0.05 basierend auf der Annahme eines Unterschiedes zwischen den Gruppen von 5% (Prämisse: Standardabweichung 5%, Drop-out-Rate: n=2).

Alle statistischen Kenngrößen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 15.0 berechnet. Mittelwertsunterschiede innerhalb der ES- bzw. der Kontrollgruppe zwischen den beiden Zeitpunkten sowie Zwischengruppenunterschiede wurden bei gegebener Normalverteilung per T-Test oder im Falle fehlender Normalverteilung per Wilcoxon- oder Whitney-Mann-U-Test analysiert. In Einzelfällen wurde zur Adjustierung auf basale Unterschiede (bspw. Körpergewicht) eine Varianzanalyse mit Messwiederholungen durchgeführt. Die Normalverteilung der Werte wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test, überprüft. Es wurde ein Signifikanzniveau von 5% festgelegt. Eine  $\alpha$ -Fehleradjustierung wurde nicht vorgenommen, um dem Leser eine Einschätzung eines eventuellen  $\alpha$ -Fehlers (Typ-I Fehler) zu ermöglichen, wird das Signifikanzniveau im Text präzise angegeben. Zur Berechnung von Effektstärken (ES) wurde der Test von Cohen (Cohen's d) (6) herangezogen. Verglichen wurden die absoluten Veränderungen ( $\pm$ SD) innerhalb der Gruppen (s.o.). In Anlehnung an Cohen gelten Effektstärken von  $d \leq 0.2$  als „gering“, „moderat“:  $d \approx 0.5$  und „hoch“:  $d \geq 0.8$ .

## Ergebnisse

Von den insgesamt 30 Teilnehmerinnen der TEST-Studie brach keine die Intervention vorzeitig ab (Abb. 1). Die Anwesenheitsrate im basalen konventionellen Ausdauer- und Krafttraining lag in beiden Gruppen vergleichbar bei ca. 80% ( $22.3 \pm 2.0$  Trainingseinheiten/14 Wochen). Innerhalb des ES-Trainings erfolgte die Intervention mit nahezu vollständiger Anwesenheitsrate (98%), da die Termine der Trainingseinheiten individuell abgestimmt und bei Bedarf verändert werden konnten.

Die mittlere Intensität der Trainingseinheit per se sowie die Reizstärke an den beübten Körperregionen wurde nach 6 und 14 Wochen erfragt. Nach 6 Wochen wurde die Reizhöhe mit Ausnahme der Brustregion (3.4) an allen Körperregionen als mittel (3.7 – 4.1) eingeschätzt. Die Belastungsintensität der Trainingseinheit stieg signifikant ( $p=.048$ ) von  $4.4 \pm 0.5$  nach 6 Wochen auf  $4.9 \pm 0.7$  nach 14 Wochen an. Diese Veränderung reflektiert den vergleichsweise einheitlichen überwiegend signifikanten Anstieg der Reizhöhe an den beübten Regionen.

Den Einfluss des ES-Trainings auf primäre und sekundäre Studienendpunkte zeigt Tabelle 2. Zusammenfassend zeigten sich für den Ruheumsatz tendenzielle Reduktionen in der Kontrollgruppe (-5.3%) und keine Veränderungen (-0.2%) in der ES-Gruppe. Trotz mittlerer Effektstärke zeigten sich für diesen Parameter lediglich tendenzielle Unterschiede zwischen ES-Gruppe und Kontrollgruppe ( $p=.095$ ).

Das Körpergewicht (nicht in Tab. 2) reduziert sich in beiden Gruppen jeweils signifikant (ES:  $1.9 \pm 1.7$  kg,  $p=.001$  vs. KG:  $0.9 \pm 1.5$  kg,  $p=.025$ ). Nach Adjustierung des Unterschiedes auf das basale Körpergewicht zeigt sich kein signifikanter Zwischengruppenunterschied ( $p=.122$ , Effektstärke: .62).

Der Summenwert für die Hautfaldendicke reduzierte sich in der ES-Gruppe signifikant ( $p=.001$ ) um 8.6% verglichen mit einer leichten n.s. Zunahme in der Kontrollgruppe (1.4%), eine Unterschied der sich als statistisch signifikant ( $p=.001$ ) zeigte.

Der Taillen- und Hüftumfang sank in der ES-Gruppe ebenfalls signifikant ( $p>.001$ ) um ca. 2.3%. In der Kontrollgruppe wurde eine leichte n.s. Erhöhung des Taillenumfanges (1.0%) und eine ebenfalls n.s. Verringerung des Hüftumfangs (-1.3%) erfasst. Signifikantes Niveau erreichen die Zwischengruppenunterschiede nur für den Taillenumfang (s.u.)

	ESG (MV ± SD)	Kontrolle (MV ± SD)	Absolute Differenz MV (95% CI)	p	Effekt- größe
<b>Ruheumsatz (kcal/h)</b>					
Basal	61.6 ± 10.6	60.0 ± 9.7	-----	-----	-----
14 Wochen	61.6 ± 9.5	56.8 ± 9.2	-----	-----	-----
Differenz	-0.1 ± 4.8	-3.2 ± 5.2	-3.2 (-7.0 bis 0.6)	.095	.62
<b>Summe der 11 Hautfaltendicken [mm]</b>					
Basal	267.8 ± 68.8	227.4 ± 30.3	-----	-----	-----
14 Wochen	244.6 ± 54.6	230.2 ± 32.1	-----	-----	-----
Differenz	-23.2 ± 20.1	2.8 ± 17.7	26.1 (11.9 bis 40.2)	.001	-1.37
<b>Tailenumfang [cm]</b>					
Basal	86.5 ± 10.9	80.8 ± 7.1	-----	-----	-----
14 Wochen	84.4 ± 54.6	81.6 ± 6.6	-----	-----	-----
Differenz	-2.0 ± 1.5	0.8 ± 1.9	2.8 (1.6 bis 4.1)	.001	-1.64
<b>Hüftumfang [cm]</b>					
Basal	106.3 ± 10.2	101.0 ± 6.6	-----	-----	-----
14 Wochen	103.6 ± 9.5	99.7 ± 6.2	-----	-----	-----
Differenz	-2.5 ± 1.8	-1.3 ± 1.6	1.2 (-0.1 bis 2.5)	.065	-.70
<b>Isometrische Maximalkraft Rumpfflexoren [N]</b>					
Basal	50.3 ± 17.6	56.9 ± 23.1	-----	-----	-----
14 Wochen	53.5 ± 18.7	53.7 ± 22.0	-----	-----	-----
Differenz	3.3 ± 8.8	-3.2 ± 9.2	-6.5 (-14.0 bis -1.1)	.089	.72
<b>Isometrische Maximalkraft Rumpfextensoren [N]</b>					
Basal	116.3 ± 23.8	119.5 ± 40.0	-----	-----	-----
14 Wochen	127.8 ± 44.2	112.0 ± 32.2	-----	-----	-----
Differenz	11.5 ± 12.8	-7.6 ± 12.2	-19.2 (-32.4 bis -6.0)	.006	1.53
<b>Isometrische Maximalkraft Beinpresse [N]</b>					
Basal	827 ± 209	889 ± 191	-----	-----	-----
14 Wochen	908 ± 229	849 ± 214	-----	-----	-----
Differenz	80 ± 77	-40 ± 90	-121 (-184 bis -57)	.001	1.43
<b>Sprungkraft [Watt/kg]</b>					
Basal	20.8 ± 2.0	26.0 ± 4.3	-----	-----	-----
14 Wochen	22.6 ± 1.9	25.7 ± 3.4	-----	-----	-----
Differenz	1.8 ± 1.2	-0.3 ± 1.6	-2.1 (-3.3 bis -0.9)	.001	1.50

Tab. 2: Veränderungen der Endpunkte in ES- und Kontrollgruppe. Signifikanzwerte sind nur für Zwischengruppenunterschiede abgebildet, weitere Informationen finden sich im Text.

Die isometrische Maximalkraft der Rumpfflexoren und -extensoren der ES-Gruppe zeigten tendenzielle (6.6%) bzw. signifikante (9.9%,  $p=.015$ ) Verbesserungen während sich beide Werte in der Kontrollgruppe tendenziell bzw. grenzwertig signifikant ( $p=.056$ ) reduzierten (5.6% bzw. 6.4%). Signifikante Zwischengruppenunterschiede zeigten sich für den Bereich Rumpfextensoren, während die Unterschiede für die Rumpfflexoren als tendenziell zu bewerten sind.

Die isometrische Kraft bei der Beinpresse veränderte sich in der ES-Gruppe signifikant positiv ( $p = .001$ , +9.6%) in der Kontrollgruppe tendenziell negativ (-4.5%). Zwischen den Gruppen zeigen sich signifikante Unterschiede (Tab. 2).

Die Sprungkraft (Leistung) veränderte sich in der ESG signifikant ( $p = .001$ ) um 8.7% während sich nur marginale Veränderungen in der KG zeigten (-1.2%) zeigten. Auch nach Adjustierung auf die geringere basale Leistung der ES-Gruppe zeigten sich signifikante Unterschiede ( $p = .001$ ) zwischen beiden Gruppen.

Keine wesentlichen Veränderungen oder Unterschiede bei sehr günstigen basalen Werten zeigten sich für die Schmerzhäufigkeit oder -stärke bzw. für die Lebensqualität (SF 36).

## Diskussion

Die vorliegende Untersuchung ist unseres Wissens die erste Studie, welche die Anwend- und Durchführbarkeit und den Effekt von Ganzkörperelektromyostimulation auf gesundheitsrelevante physiologische und muskuläre Parameter bei Frauen in der Menopause überprüft. Zusammenfassend zeigt sich in diesem Kollektiv über 55jähriger, langjährig an ein Ausdauer- und Krafttraining adaptierter Frauen zunächst eine sehr hohe Akzeptanz des ES-Training. So verließ keine Frau während der Interventionsphase die Untersuchung, was angesichts der Drop-out Rate vergleichbar langer Studien (Übersicht in (3)) bemerkenswert erscheint. Auch die extrem hohe Anwesenheitsrate bildet die sehr hohe Akzeptanz dieser alternativen Trainingsform ab, wobei einschränkend angemerkt wird, dass der hohe Grad an individualisierter Betreuung mit diesem Ergebnis sicherlich korreliert.

Alle anthropometrischen und muskulären Parameter zeigten zusammenfassend positive Effekte (s.o.), die für den subkutanen Körperfettgehalt, den Taillenumfang und die Muskelkraft bzw. Leistung unterschiedlicher Körperregionen signifikantes Niveau erreichten. Bezogen auf den primären Endpunkt „Ruheumsatz“ der u.a. auch Veränderungen der Muskelmasse grob determinieren sollte (25), zeigten sich tendenzielle Effekte die allerdings das gewählte Signifikanzniveau von 5% nicht erreichten. Zentraler Grund für die offensichtlich zu geringe statistische Power ist eine höhere Standardabweichung der mittleren Differenz als angenommen (ca. 8% statt 5%, s.o.). Hierfür sind mehrere Gründe denkbar: (1) Eine hohe Reliabilität der Ruheumsatzmessung per se. Dieser Faktor scheidet unserer Einschätzung nach aufgrund des niedrigen Variationskoeffizienten (<4%, s.o.), der im Übrigen mit Daten ähnlicher Untersuchungen (u.a. (27)) vergleichbar ist, aus. (2) Veränderungen von Kovariaten (Medikation, körperliche Belastung, Ernährung, Erkrankungen) mit Einfluss auf Ruheumsatz oder Muskelmasse. Die entsprechenden Störvariablen wurden jedoch abgefragt; bei keinem Teilnehmer konnten korrespondierende Veränderungen erfasst werden. (3) Eine eingeschränkte Testcompliance, im Sinne eines nicht protokollgemäßen Verhaltens vor den Tests (s.o.). Allerdings wurden die Probanden unmittelbar vor den Ruheumsatzmessungen von den Untersuchern entsprechend befragt und bei Protokollverletzungen nochmals einbestellt. (4) Eine hohe interindividuelle Variabilität der Veränderung des Ruheumsatzes. Trainingsseitig liegt zwar eine vergleichsweise geringe Variation für die Anwesenheit vor, inwieweit die von den Teilnehmern selbst eingeschätzte Reizintensität verlässlich ist, kann nicht beantwortet werden. Wie auch immer, das von uns vorgegebene ES-Trainingsregime führte offensichtlich zu deutlichen interindividuellen Unterschieden bezüglich der Veränderung des Ruheumsatzes (-5.3% bis +8.4%). Inwieweit diese Unterschiede auf trainingsbezogenen Unterschieden in der



Reizsetzung oder auf genetischen Unterschieden der Adaptabilität auf Trainingsreize (23) beruhen müssen weitere Untersuchungen klären.

Eine weitere Frage in Zusammenhang mit der Ruheumsatzmessung ist, warum trotz weitergeführtem konventionellen Training der Ruheumsatz in der KG deutlich zurückging und in der ES-Gruppe trotz zusätzlichem ES-Training nur erhalten werden konnte. Obwohl ein systematischer Fehler möglich wäre, führen wir diese Verschiebung eher auf die Reduktion des Ruheumsatzes durch Akklimatisierung im Testzeitraum zwischen April bis August (vgl. (5) zurück.

Interessanterweise reduzierte sich das Körpergewicht in beiden Gruppen signifikant, ohne dass eine Person eine Kalorienreduktion über den Interventionszeitraum angeben hätte. Möglicherweise stehen die Reduktionen insb. in der Kontrollgruppe neben einer studienbedingten leichten Erhöhung der Trainingshäufigkeit auch mit jahreszeitlichen Umstellungen der Ernährungsgewohnheiten in Zusammenhang (29) in Verbindung. Inwieweit eine mögliche Energierestriktion mit der Reduktion respektive der Stagnation des Ruheumsatzes in unseren Gruppen korreliert, ist allerdings fraglich. Stiegler et al. (26) fassen innerhalb Ihres Übersichtsartikels die Effekte von Energierestriktion und kombiniertem Training (Ausdauer- und Krafttraining) zusammen und erfassen in Abhängigkeit von der Proteinzufuhr zumindest einen Erhalt der fettfreien Körpermasse, als wesentlichstem Prädiktor des Ruheumsatzes (25). Bryner et al. (4) zeigen nach einem progressiv gesteigerten hochintensiven Krafttraining mit Übergewichtigen in Verbindung mit einer sehr niedrigkalorigen Diät (800 kcal/d davon 40% Protein) einen signifikanten Gewichtsverlust (ca. 15%) bei marginalem Rückgang der LBM (-1.6%) und signifikant erhöhtem Ruheumsatz (3.6%) sodass die marginale Reduktion des Körpergewichtes in unserer Kontrollgruppe kaum in einer so deutlichen Reduktion des Ruheumsatzes resultieren sollte. In unserer ES-Gruppe stehen den signifikanten Gewichtsverlust eine signifikante Reduktion des subkutanen Körperfetts in Kombination mit signifikanten Reduktionen des Taillenumfanges, als einfachem, aber validem Prädiktor des intraabdominalen Fettgehaltes (14, 22) sowie ein Erhalt des Ruheumsatzes gegenüber.

Betrachtet man die muskulären Parameter so wurde zunächst aufgrund des Pilotcharakters der Studie auf eine Erfassung der Muskel- bzw. fettfreien Körpermasse mit röntgenologischen Verfahren verzichtet. Der von uns erfasste Ruheumsatz korreliert zwar hoch mit der Muskelmasse, trotzdem ist aufgrund der Abhängigkeit des Ruheumsatzes von anderen Parameter (26) ein direkter Vergleich unserer Einschätzung nach nur bedingt zulässig. Bemüht man die wenigen vorliegenden Literaturdaten zu diesem Thema, so erfassen nur einige Untersuchungen eine Erhöhung der Muskelmasse nach Elektromyostimulation bei älteren Menschen (19, 28). Wie auch immer, unsere Untersuchung zeigt für die ES-Gruppe, die eine Kombination aus konventionellem Ausdauer- und Krafttraining sowie Elektromyostimulation durchführte, signifikante Unterschiede zu einer konventionell trainierenden Krafttrainingsgruppe für die isometrische Maximalkraft der Rumpffextensoren und der Beinstreckmuskulatur sowie für die Schnellkraft (Leistung) der Beinstrecker. Dieses Ergebnis wird jedoch von einer vergleichbaren Untersuchungen zumindest was die isometrische Maximalkraft anbelangt (20) nicht bestätigt. Vice versa erfassen Felder et al. (11) deutlich höhere Verbesserungen der isometrischen Maximalkraft sowie der Schnellkraft in einer kombinierten ES/Krafttrainingsgruppe verglichen mit einer isolierten Elektrostimulation. Der Einwand, daß die

jeweiligen Unterschiede zur „Kontrollgruppe“ nur aus einem höheren Trainingsvolumen stammen widerlegen nicht zuletzt Dosis-Response Daten zum Krafttraining (21).

Interessante Daten zu den Mechanismen des Kraftzuwachses liefern in diesem Zusammenhang Vivodtzev et al. (28) die bei älteren Menschen lokal (m. quadriceps) einen sehr hohen positiven Zusammenhang ( $r=.94$ ,  $p=.03$ ) zwischen ES-induzierter Erhöhung der isometrischer Maximalkraft der Beinstrecker und Veränderungen der Muskelmasse erfassen.

Neben dem Verzicht auf röntgenologische Golden Standard-Verfahren zur Erfassung der Körperzusammensetzung ist zumindest retrospektiv der Verzicht auf eine Gruppe mit ausschließlichem ES-Training ein Schwäche unserer Untersuchung. So kann der isolierte Effekt der Elektromyostimulation als Alternative zu einem konventionellen Training nur schwer eingeschätzt werden. Zwar führten beide Gruppen dasselbe Basisprogramm durch, die überlegenen Effekte innerhalb der ES-Gruppe können allerdings aus einem synergistischen Effekt resultieren (11). Der wesentliche Grund für unsere Vorgehensweise war dabei, dass wir in dieser Pilotstudie erfahrene ältere Sportlerinnen mit geschultem Belastungsempfinden einschließen wollten, die einem 14-wöchigen Verzicht auf Ihr gewohntes Training sehr kritisch gegenüberstanden, sodass hier ein Complianceproblem im Sinne eines durchgeführten, aber verheimlichten konventionellen Trainings zu erwarten war.

Zusammenfassend zeigt sich in dieser Gruppe gut trainierter Frauen im Bereich des 65. Lebensjahres eine hohe Akzeptanz des Ganzkörper-Elektromyostimulationstrainings. Darüber hinaus zeigen sich neben gesundheitsrelevanten Effekten auch Verbesserungen funktioneller Parameter die Kraft und Leistung. Insgesamt sollte das zweifellos vorhandene Potential der Ganzkörper-Elektromyostimulation in größeren, kontrollierten randomisierten Studien mit klar definierten gesundheitsrelevanten Endpunkten und entsprechend prädestinierten Kollektiven vertieft untersucht werden.

### **Danksagung**

Besonderer Dank gilt der Firma miha bodytec (Emersacker, Deutschland) für die Bereitstellung von zwei Ganzkörper-Elektromyostimulationswesten. Ebenfalls Danken möchten wir der Firma Mtd-Systems (Neuburg v. Wald, Deutschland) für die Überlassung von Testgeräten.

Seitens der Autoren liegt kein Interessenkonflikt vor.

**Literatur**

1. Abate M, Di Iorio A, Di Renzo D, Paganelli R, Saggini R, Abate G: Frailty in the elderly: the physical dimension. *Eura Medicophys* 43 (2007) 407-15.
2. Amiridis I, Arabatzi F, Violaris P, Stavropoulos E, Hatzitaki V: Static balance improvement in elderly after dorsiflexors electrostimulation training. *Eur J Appl Physiol* 94 (2005) 424-33.
3. Asikainen TM, Kukkonen-Harjula K, Miilunpalo S: Exercise for health for early postmenopausal women. *Sports Med* 34 (2004) 753-778.
4. Bryner RW, Ullrich IH, Sauers J, et al.: Effects of resistance vs. aerobic training combined with an 800 calorie liquid diet on lean body mass and resting metabolic rate. *J Am Coll Nutr* 18 (1999) 115-21.
5. Byrne HK, Wilmore JH: The effects of a 20-week exercise training program on resting metabolic rate in previously sedentary, moderately obese women. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 11 (2001) 15-31.
6. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Lawrence Erlbaum Associate, Hillsdale, NJ, 1988, Pages.
7. Despres JP, Lamarche B: Low-intensity endurance exercise training, plasma lipoproteins and the risk of coronary heart disease. *J Intern Med* 236 (1994) 7-22.
8. Doherty TJ: Invited review: Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol* 95 (2003) 1717-1727.
9. Durnin JV, Womersley J: Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr* 32 (1974) 77-97.
10. Evans W: Functional and metabolic consequences of sarcopenia. *J Nutr* 127 (1997) 998S-1003S.
11. Felder H: [The effect of electromyostimulation on selected power parameters]. *Sportverletz Sportschaden* 8 (1994) 122-7.
12. Gambacciani M, Ciaponi M, Cappagli B, DeSimone L, Orlandi R, Gennazzani AR: Prospective evaluation of body weight and body fat distribution in early postmenopausal women with and without hormonal replacement therapy. *Maturitas* 39 (2001) 125-132.
13. Hunter GR, Treuth MS: Relative training intensity and increases in strength in older women. *J. Strength and Cond. Res.* 9 (1995) 188-191.
14. Kamel EG, McNeill G, Van Wijk MC: Usefulness of anthropometry and DXA in predicting intra-abdominal fat in obese men and women. *Obes Res* 8 (2000) 36-42.
15. Kemmler W, Engelke K, Lauber D, Weineck J, Hensen J, Kalender WA: Exercise Effects on Fitness and BMD in Early Postmenopausal Women: 1 year EFOPS results. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 2115-2123.
16. Kemmler W, Engelke K, Lauber D, Weineck J, Hensen J, Kalender WA: Impact of intense exercise on physical fitness, quality of life, and bone mineral density in early postmenopausal women. Year 2 results of the Erlangen Fitness Osteoporosis Prevention Study (EFOPS). *Arch Int Med* 164 (2004) 1084-1091.
17. Kemmler W, Engelke K., Lauber D., Weineck, J., Hensen, J., Kalender, W.A.: The Erlangen Fitness Osteoporosis Prevention Study (EFOPS) - a controlled exercise trial in early postmenopausal women with low bone density: First year results. *Arch Phys Med Rehabil* 84 (2003) 673-683.
18. Kemmler W, Von Stengel S, Lauber D, Weineck J, Kalender W, Engelke K: Umsetzung leistungssportlicher Prinzipien in der Osteoporose-Prophylaxe - Zusammenfassende Ergebnisse der Erlangen Fitness und Osteoporose Präventions-Studie (EFOPS). *Dtsch Z Sportmed* 58 (2007) 427-432.

19. Paillard T, Lafont C, Costes-Salon MC, Dupui P: Comparison between three strength development methods on body composition in healthy elderly women. *J Nutr Health Aging* 7 (2003) 117-9.
20. Paillard T, Lafont C, Soulat JM, Montoya R, Costes-Salon MC, Dupui P: Short-term effects of electrical stimulation superimposed on muscular voluntary contraction in postural control in elderly women. *J Strength Cond Res* 19 (2005) 640-6.
21. Peterson MD, Rhea MR, Alvar BA: Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 377-82.
22. Pouliot MC, Despres JP, Lemieux S, et al.: Waist circumference and abdominal sagittal diameter: best simple anthropometric indexes of abdominal visceral adipose tissue accumulation and related cardiovascular risk in men and women. *Am J Cardiol* 73 (1994) 460-8.
23. Rankinen T: Individual differences in response to regular exercise. *Acta Physiologica* 193 (2008) 54.
24. Rogers MA, Evans WJ: Changes in skeletal muscle with aging: effects of exercise training. *Exercise and Sport Science Review* 21 (1993) 65-102.
25. Speakman JR, Selman C: Physical activity and resting metabolic rate. *Proc Nutr Soc* 62 (2003) 621-634.
26. Stiegler P, Cunliffe A: The role of diet and exercise for the maintenance of fat-free mass and resting metabolic rate during weight loss. *Sports Med* 36 (2006) 239-62.
27. Van Pelt RE, Jones PP, Davy KP, et al.: Regular exercise and the age-related decline in resting metabolic rate in women. *J Clin Endocrinol Metab* 82 (1997) 3208-12.
28. Vivodtzev I, Pepin JL, Vottero G, et al.: Improvement in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD. *Chest* 129 (2006) 1540-8.
29. Wagner K, Gedrich K, Karg G: Wie stark ist die saisonale Variation der Nährstoffzufuhr? *Proceedings of the German Nutrition Society* 7 (2005) 51-52.
30. Weineck J. *Sportbiologie*. Spitta Verlag, Balingen, 2002.