

# Ganzkörper Elektromyostimulation versus HIT-Krafttraining – Einfluss auf Körperzusammensetzung und Muskelkraft

*Whole-Body Electromyostimulation Versus High Intensity (Resistance Exercise) Training – Impact on Body Composition and Strength*

<sup>1</sup> FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG, Institut für Medizinische Physik, Erlangen-Nürnberg

<sup>2</sup> TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN, Fachgebiet Sportwissenschaften, Kaiserslautern

<sup>3</sup> UNIVERSITÄT FURTWANGEN, Fakultät für Medical and Life Sciences, Furtwangen

## ZUSAMMENFASSUNG

Problemstellung: Ganzkörper-Elektromyostimulation (WBEMS) und hochintensives (Kraft)-Training (HIT) gelten derzeit als die wohl zeiteffektivsten Trainingsmethoden im fitnessorientierten Kraftsport. Ziel der vorliegenden Arbeit war ein Vergleich der Wirkeffekte eines WB-EMS mit dem „Golden Standard“ HIT bezüglich Körperzusammensetzung und Maximalkraft bei untrainierten Männern in mittlerem Lebensalter über 16 Wochen.

Methoden: 46 Männer zwischen 30 und 50 Jahren wurden randomisiert auf eine „WB-EMS“- und „HIT“-Gruppe verteilt. Während die HIT-Gruppe zweimal/Woche ein Einsatztraining unter Ausbelastung durchführte, absolvierte die WB-EMS-Gruppe ein intermittierendes Stimulationsprotokoll (6 sec-4 sec Pause; 85 Hz, 350 ms) über 20 min, dreimal in zwei Wochen. Primärer Endpunkt war die gesamte fettfreie Körpermasse (LBM), sekundäre Endpunkte waren die appendikuläre skeletale Muskelmasse (ASMM), die dynamische Maximalkraft der Beinextensoren sowie die isometrische Maximalkraft der Rückenextensoren. Es wurde eine „Intention to treat“-Analyse durchgeführt.

Ergebnisse: Die effektive Netto-Trainingsdauer beider Trainingsmethoden lag relativ niedrig (HIT: 30,3±2,3 vs. WBEMS: 20±0 min;  $p<.001$ ). LBM (HIT: 1,24±1,40% vs. WB-EMS: 0,91±1,12%) und ASMM (1,92±1,51% vs. WB-EMS: 1,52±1,48%) veränderten sich in beiden Gruppen ähnlich ( $p=.406$  bzw.  $p=.341$ ), jeweils signifikant positiv ( $p\leq.003$ ). Ebenfalls ähnliche, signifikant positive Veränderungen ( $p\leq.008$ ) zeigten sich für die dynamische Maximalkraft der Beinextensoren (HIT: 13,5±13,9% vs. WB-EMS: 8,0±10,2%;  $p=.332$ ) sowie die isometrische Maximalkraft der Rückenextensoren (HIT: 10,4±9,0% vs. 11,7±9,9%;  $p=.609$ ).

Diskussion: Ganzkörper-EMS erscheint zur Steigerung der fettfreien Masse und Muskelkraft, zumindest bei untrainierten Männern mittleren Lebensalters, als noch zeiteffizientere aber deutlich höherpreisige Option zu hochintensivem (Kraft-)training (HIT).

**SCHLÜSSELWÖRTER:** Muskeltraining, HIT, Elektrostimulation, Muskelmasse, Kraft

## SUMMARY

Purpose: High Intensity (resistance exercise) Training (HIT) and Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) may be the most promising approaches to generate favorable changes of body composition and strength with optimum time-efficiency. In this study, we compared the effect of WB-EMS on body composition and muscle strength with the “golden standard” HIT over 16 weeks.

Methods: 30-50 year-old men (n=48) were randomly allocated to a HIT (n=24) with 2 sessions/week of a “single-set-to-failure-protocol” or a WB-EMS-group that exercised 3 sessions in two weeks, using intermittent stimulation (6 sec - 4 sec rest; 85 Hz, 350 ms) over 20 min. An Intention to treat analysis was calculated with Lean Body Mass (LBM) defined as primary endpoint, and appendicular skeletal muscle mass (ASMM), maximum dynamic leg-extensor and isometric back-extensor strength as secondary endpoints.'

Results: Net exercise time/session was  $30.3 \pm 2.3$  for HIT vs.  $20 \pm 0$  min for WB-EMS ( $p < .001$ ). LBM (HIT:  $1.24 \pm 1.40\%$  vs. WB-EMS:  $0.91 \pm 1.12\%$ ) and ASMM ( $1.92 \pm 1.51\%$  vs. WB-EMS:  $1.52 \pm 1.48\%$ ) significantly increased ( $p \leq .003$ ), with no significant group differences (LBM:  $p = .406$  and ASMM:  $p = .341$ ). In parallel, changes of maximum dynamic leg strength (HIT:  $13.5 \pm 13.9\%$ ,  $p = .001$  vs. WBEMS:  $8.0 \pm 10.2\%$ ,  $p = .008$ ) and maximum isometric back strength ( $10.4 \pm 9.0\%$ ,  $p < .001$  vs.  $11.7 \pm 9.9\%$ ;  $p < .001$ ) were comparable ( $p = .332$  and  $p = .609$ ) between groups.

Discussion: In conclusion, compared to HIT, WB-EMS can be considered as an even more time-efficient but pricey option for subjects who aim to improve their body composition and general strength.

**KEY WORDS:** Muscle Training, HIT, Electrostimulation, Muscle Mass, Muscle Strength

## EINLEITUNG

Knappe zeitliche Ressourcen werden oft als Hinderungsgrund für die Aufnahme oder Aufrechterhaltung eines Körpertrainings genannt (29). Demnach könnten zeiteffiziente Trainingsprotokolle ein regelmäßiges und nachhaltiges Sporttreiben unterstützen (10). Im kraftorientierten Fitnessbereich gilt „HIT“, definiert als Einsatztraining bis zur muskulären Ausbelastung (11), derzeit als die Methodenvariante für Fitnesssportler, die mit geringem Zeitaufwand Kraft die physische Attraktivität steigern wollen. Inzwischen ist dem HIT mit der Ganzkörper-Elektromyostimulation (WB-EMS) eine ernsthafte Konkurrenz erwachsen. In der Literatur werden beide Trainingsmethoden als zeiteffizient, attraktiv und effektiv beschrieben (9, 22, 33).

Mit Blick auf die „relative Wirksamkeit“ des WB-EMS wird diese populäre Trainingsmethode von kommerziellen Anbietern mit „Effekten“ beworben, welche diejenigen konventioneller Krafttrainingsprotokolle um das 18-fache (!) überschreiten sollen. Diese Aussage beruht offensichtlich auf der falschen Interpretation der z. T. extrem hohen Kreatinkinaseanstiege (14) bei missbräuchlicher, zu intensiver (Erst-)Applikation (32). Aktuell liegen jedoch bezüglich relevanter Muskelparameter keine belastbaren Untersuchungen vor, welche beide Trainingsmethoden direkt miteinander vergleichen.

In der vorliegenden Untersuchung erfolgt somit ein Vergleich der Effektivität von WB-EMS und HIT auf muskuläre Parameter bei der relevanten Zielgruppe gesunder, untrainierter und berufstätiger Männern im mittleren Lebensalter.

Die folgenden Hypothesen sollen hierbei überprüft werden:

1. HIT zeigt verglichen mit WB-EMS signifikant günstigere Effekte auf die gesamte (und appendikuläre) fettfreie Masse.
2. HIT zeigt verglichen mit WB-EMS signifikant günstigere Effekte auf die (2a) dynamische Maximalkraft der Beinstrecker, nicht jedoch auf die (2b) isometrische Maximalkraft der Rumpfextensoren.

## METHODEN

Die vorliegende Untersuchung ist als 16-wöchige, einfach verblindete, kontrollierte und randomisierte Trainingsstudie im Parallelgruppen-Design konzipiert (Abb. 1). Die Untersuchung wurde zwischen Juli 2014 und April 2015 vom Institut für Medizinische Physik der Universität Erlangen (FAU) durchgeführt und von der Ethikkommission der FAU (Ethikantrag 245\_13b) und dem Bundesamt für Strahlenschutz (Z5-22462/2-2013-090) geprüft. Alle Teilnehmer gaben vor Studienbeginn ihre schriftliche Einverständniserklärung ab. Nach Beginn der Intervention wurden keine Veränderungen des Studienprotokolls vorgenommen. Die Studie ist unter [www.clinicaltrials.gov](http://www.clinicaltrials.gov) (NCT02078986) registriert.

## STICHPROBE

Die Abbildung 1 zeigt die Teilnehmerentwicklung der Studie. Nach persönlichen Anschreiben mit detaillierten Informationen meldeten sich 67 Interessenten und wurden danach auf Eignung überprüft. Einschlusskriterien waren: (a) männlich, 30-50 Jahre; (b) untrainierter Status ( $<1$  Trainingseinheiten (TE)/Woche Krafttraining und/oder  $<90$  min Training/Woche). Als Ausschlusskriterien wurden definiert: (a) muskuläre, kardiologische, entzündliche Erkrankungen; (b) Einnahme von Medikamenten mit Einfluss auf den Muskelmetabolismus; (c) generelle Ausschlusskriterien für WB-EMS und (d) Abwesenheit  $>2$  Wochen während des Interventionszeitraums. Von den 57 eligiblen Teilnehmern entschieden sich 9 Teilnehmer u.a. aufgrund des Randomisierungsprozesses ( $n=5$ ) und der radiologischen (DXA) Messung ( $n=2$ ) gegen eine Studienteilnahme. Die verbliebenden 48 Teilnehmer wurden mittels Losverfahren, bei dem weder die Teilnehmer noch der Testleiter Einfluss auf die Gruppenzugehörigkeit hatte, randomisiert zugeordnet. Zwei Teilnehmer der HIT-Gruppe brachen ihre Studienteilnahme direkt nach der Randomisierung ab. Zur Generierung einer initial vergleichbaren Gruppenstärke, wurde daher im weiteren Randomisierungsprozess ein Los der WB-EMS-Gruppe durch ein „HIT-Los“ ersetzt, sodass zu Interventionsbeginn beide Gruppen mit 23 Teilnehmern besetzt waren.

## MESSUNGEN

Die Teilnehmer absolvierten die Testbatterie vor und nach der Trainingsintervention innerhalb von 60 Minuten unter Anleitung jeweils desselben Testleiters zur gleichen Tageszeit ( $\pm 1$ h). Die Kontroll-

Messungen erfolgten nach einer einwöchigen Regenerationsphase (Woche 18). Den Untersuchern war die Gruppenzugehörigkeit (HIT/WB-EMS) der Teilnehmer nicht bekannt.

### **Anthropometrische**

### **Messungen**

Größe, Körpermasse und Körpervolumen wurden mit geeichten Messgeräten erhoben. Mittels Dual-Energy X-ray Absorptiometrie (DXA, QDR 4500a, Hologic, USA) wurde die absolute und regionale Körperzusammensetzung anhand des vom Hersteller empfohlenen Standardprotokolls ermittelt. Alle Scans wurden von zwei Untersuchern unabhängig voneinander analysiert, wobei die Interrater-Reliabilität (intraclass correlation, ICC; unjustiertes Modell vgl. (35)) für die LBM 0,91 betrug.

### **Kraft-Messungen**

Die Messung der bilateralen konzentrischen Maximalkraft der Beinstrecker erfolgte mit der isokinetischen LegPress (ConTrex, PhysioMed, Laipersdorf, Deutschland), in sitzender Position. Die Bewegungsamplitude definierte sich über den Kniewinkel zwischen 30° und 90°. Als isokinetische Geschwindigkeit wurde die Standardeinstellung von 0,5 m/s verwendet. Die Probanden führten 5 konzentrische Wiederholungen (Extension/Flexion) mit maximaler Kraft durch. Der Reliabilitäts-Koeffizient (ICC, s. o.) für den Maximalkrafttest der Beinstreckung liegt in unserem Labor bei 0,88.

Die maximale isometrische Kraft der Rückenstrecker wurde mit dem Schnell M3 (Schnell, Peutenhausen, Deutschland) erhoben. Die Probanden saßen mit fixierter Hüfte und Oberschenkeln in aufrechter Position auf dem Gerät. Der fixierte Hebelarm war auf Höhe der spina scapulae angelegt. Wie bei der Beinkraftmessung wurden zwei Durchgänge mit maximaler Kraftentwicklung über 3-5 s (Pause 40 s) absolviert. Der bessere Versuch ging in die Analyse ein. Der ICC (s.o.) des isometrischen Rumpfextensions-Tests beträgt in unserem Labor 0,85.

### **Störfaktoren**

Zur Erfassung potentieller Störfaktoren diente ein standardisierter Fragebogen. Lebensstil, Krankheiten, Medikamente, Schmerzhöhe und -häufigkeit, körperliche Aktivität/Training (23) sowie deren Veränderung wurde zu beiden Messzeitpunkten schriftlich und im persönlichen Gespräch abgefragt. Die Reproduzierbarkeit des Fragebogens (ICC) lag bei  $\geq 0,78$ .

Die individuelle Ernährung wurde zu beiden Messzeitpunkten über ein 5-tägiges Ernährungsprotokoll erfasst und mit dem Freiburger-Ernährungs-Protokoll (nutri-science, Hausach, Deutschland) analysiert.

### **Studienintervention**

Alle Teilnehmer absolvierten ihre 16-wöchige Trainingsintervention in einem ortsansässigen Fitnessstudio. Alle Trainingseinheiten (TE) wurden beaufsichtigt und angeleitet. Darüber hinaus führten die Teilnehmer Trainingstagebücher, die im Abstand von 4 Wochen ausgewertet wurden. Außerhalb der Studienintervention wurden die Teilnehmer strikt aufgefordert, ihre körperliche Aktivität nicht zu verändern.

### **HIT**

### **Protokoll**

Das Protokoll des HIT-Krafttrainings dieser Studie definiert sich als „Einsatz-Training unter Ausbelastung durch unterschiedliche Intensitätsstrategien“ (11). Der Trainingsplan sah zwei, maximal drei (9., 13., 16. Woche) TE an nicht aufeinander folgenden Tagen vor. Eine TE beinhaltete 10-13

Übungen für große Muskelgruppen aus einem Übungskatalog von 17 Übungen an Geräten (TechnoGym, Gambettola, Italien). Nach der Konditionierungsphase erfolgte das weitere Training periodisiert mit 3-4 Wochen ansteigender Reizintensität (und Gesamtbelastung) und einer anschließenden Entlastungswoche. Neben der Manipulation der Reizintensität erfolgte ebenfalls eine Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit (TUT) (Tab. 1). Nach der 4-wöchigen Konditionierungsphase waren die Teilnehmer meist in der Lage, das Trainingsgewicht (Last) an die vorgeschriebene Wiederholungszahl anzupassen. Die Sätze wurden stets unter Ausbelastung (bis zur letzten, gerade noch möglichen, technisch korrekten Wiederholung) durchgeführt, auch wenn der Proband das Last/Wiederholungs-Verhältnis nicht korrekt einschätzte. In Phase 4 (Tab. 1) wurden zusätzlich sogenannte „Reduktionssätze“ vorgegeben, bei denen die Last nach erster Ausbelastung reduziert wurde (-10-25%), sodass wiederum einige Wiederholungen bis zur erneuten Ausbelastung realisiert werden konnten (Tab. 1).

**Tabella 1**  
 Trainingsprotokoll der HIT-Gruppe. Wdh=Wiederholung; TUT=Time under Tension (in s im konzentrischen, isometrischen, konzentrischen Bereich), EW=Entlastungswoche; ex=explosive Bewegungsausführung; SuS=Supersätze; ReduS=Reduktionssätze. <sup>1</sup>=Mehrfachbelastung identische Muskelgruppe; <sup>2</sup>=abwechslnde Belastung Agonist/Antagonist.

ZEIT	WIEDERHOLUNGSZAHL/PAUSE	AUSBELASTUNGSSTRATEGIE	TUT
<b>Phase 1</b> 1-2 Wo. 3-4 Wo.	Konditionierungsphase 2 x 15 Wdh (Pause 90 sec) 1 x 8-10 Wdh (Pause 90 sec)	Ausbelastung – 2-3 Wdh. Ausbelastung – 1Wdh.	02.01.2002
<b>Phase 2</b> 5-6 Wo.	8-10 Wdh (Pause 2 min) 5-7 Wdh (Pause 2 min) 3-5 Wdh (Pause 2 min) EW: 10-12 Wdh (Pause 2 min)	Ausbelastung Ausbelastung Ausbelastung Ausbelastung – 1-2 Wdh	exp-1-2 exp-1-2 3-1-4 2-1-2
<b>Phase 3</b> 9-12 Wo.	s. Phase 2, aber Pause zwischen SuS-Übungen: <20 sec; zwischen SuS-„Blöcken“ 2 min Woche 4: EW (s. Phase 2)	s. Phase 2 + Supersätze: 1. TE/Wo. Agonisten SuS <sup>1</sup> 2. TE/Wo. Antagonisten SuS <sup>2</sup> (2-4 Übungen / SuS-„Block“)	s. Phase 2
<b>Phase 4</b> 13-16 Wo.	s. Phase 3	s. Phase 3 und ein bis 2 Reduktionssätze: Wo. 1 und 2: ein ReduS (-10 bis 25%) Wo. 3 und 4: zwei ReduS (-10-20% und -20%)	2-1-2 bis 3-1-3

## Ganzkörper-Elektromyostimulation

(WB-EMS)

Die Teilnehmer absolvierten unter Anleitung eines Übungsleiters ein 16-wöchiges WB-EMS-Trainingsprogramm mit 3 TE in zwei Wochen und jeweils 20 min Dauer (jeden Montag oder Dienstag und jeden zweiten Donnerstag, Freitag oder Samstag). Die 3er-Gruppen trainierten unter visueller und akustischer Begleitung eines Videos das exakt auf die (Strom-)Intervalle von 6 s Stromapplikation/Bewegung (s. u.) und 4 s Pause synchronisiert war. Die verwendeten WB-EMS-Geräte (miha bodytec®, Gersthofen, Germany) applizierten bipolare Impulse von 85 Hz, 350 µs Impulsbreite und unmittelbaren Impulsanstieg und -abfall (rechteckige Impulse).

Während der Stromphasen der WB-EMS TE wurden 10 dynamische Übungen mit 1-2 Sätzen und je 6-8 Wiederholungen durchgeführt, die stehend ohne Zusatzlast realisiert wurden. Die Gesamtbelastung der Körperübungen wurde sehr niedrig angesetzt (bspw. Kniebeuge: Beugung <35°), um Trainingseffekte der Übung per se zu verhindern. Darüber hinaus wurde auch im Verlauf der Studie keine Intensitätssteigerung der Körperübung vorgenommen.

Nach einer Konditionierungsphase von fünf WB-EMS-Einheiten wurde die Stromstärke (Reizintensität) auf ein subjektives Belastungsempfinden (SBE) von „stark“ bis „sehr stark“ („6“ auf Borg CR-10 Skala) (5) festgelegt. Die entsprechende Stromstärke jeder Körperregion wurde auf einer Chip-Karte gespeichert, um eine schnelle und zuverlässige Einstellung der Reizintensität während der folgenden WB-EMS-Einheiten zu ermöglichen. Um die Reizintensität während der WB-EMS-TE auf

dem vorgegebenen Niveau (s. o.) zu halten, erhöhten die Übungsleiter in Abstimmung mit den Teilnehmern die Stromstärke alle 3 bis 5 min, jeweils dezidiert je ansteuerbare Region.

## STATISTISCHE ANALYSE

Die a-priori Berechnung der formalen Stichprobengröße basierte auf dem Studienendpunkt „fettfreie Körpermasse“. Ausgehend von einer erwarteten Gruppendifferenz (in kg/g) von 10% (SD: 10%) liegt bei einer Probandenzahl von 21 Personen/Gruppe und einem Typ 1-Fehler von 5%, die statistische „Power“ (1- $\beta$ ) bei 90%. Zur Berechnung einer „Completer-Analyse“ und der Annahme einer Drop-out Rate von 20%, war es unser Ziel, 25 Personen/Gruppe einzuschließen.

Es wurde eine Intention-to-Treat (ITT)-Analyse durchgeführt, in welche die Daten aller Personen eingingen. Die Analyse wurde mit dem statistischen Softwareprogramm R (R Development Core Team Vienna, Austria) in Kombination mit einer multiplen Imputation durch das Programm Amelia II durchgeführt. Dabei wurde die Imputation 50-mal wiederholt.

Die vorliegenden Werte sind als Mittelwerte $\pm$ Standardabweichungen (MV $\pm$ SD) oder Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall (MV, 95%-KI) angegeben. Zur Erfassung von gruppeninternen Veränderungen und Zwischengruppenunterschieden wurden (trotz gerichteter Hypothesen) zweiseitig gepaarte t-Tests bzw. Wilcoxon Rang-Tests (prä-post Unterschiede) und ungepaarte Welch t-Tests (Zwischengruppenunterschiede) verwendet. Es wurde ein Signifikanzniveau von 5% festgelegt. Auf eine  $\alpha$ -Fehler Adjustierungen der sekundären/experimentellen Endpunkte wurde verzichtet. Die Effektstärke wurde auf der Basis der absoluten Veränderungen (MV $\pm$ SD) berechnet (Cohens`d). Alle Analysen mit Ausnahme der Datenimputation wurden mit SPSS Version 21 durchgeführt.

## ERGEBNISSE

**Tabelle 2**  
 Basale Charakteristika der Teilnehmer der HIT- und WB-EMS-Gruppe.  
 %Werten von 1 (sehr niedrig) bis 7 (sehr hoch) (23); \* = 4-tägiges Ernährungsprotokoll.

VARIABLE	HIT (N=21)	WB-EMS (N=21)	DIFFERENZ (p)
Alter (Jahre) <sup>1</sup>	41,9 $\pm$ 6,4	43,7 $\pm$ 6,1	0,429
Körpergröße (cm)	181,6 $\pm$ 5,6	179,3 $\pm$ 6,3	0,187
Körpermasse (kg)	88,8 $\pm$ 12,5	91,5 $\pm$ 12,8	0,471
Vollzeitschäftigung (%)	100	100	—
Arbeitszeit (h/Woche)	41,8 $\pm$ 3,8	43,2 $\pm$ 4,8	0,847
Körperliche Aktivität (Index) <sup>2</sup>	2,91 $\pm$ 1,08	3,22 $\pm$ 1,31	0,463
Sportausgang (min/Woche)	41,9 $\pm$ 31,8	50,2 $\pm$ 35,2	0,689
Energiezufuhr (kcal/d) <sup>3</sup>	2346 $\pm$ 463	2387 $\pm$ 712	0,829
Proteinzufuhr (g/kg/d) <sup>3</sup>	1,97 $\pm$ 0,27	1,19 $\pm$ 0,28	0,095
Alkohol (g/d) <sup>3</sup>	18,8 $\pm$ 9,4	12,1 $\pm$ 10,9	0,514
Raucher (n)	7	6	0,743

Die Tabelle 2 zeigt die basalen Charakteristika der beiden Gruppen.

Für keinen der angegebenen Parameter wurden signifikante Unterschiede zwischen der HIT und der WB-EMS-Gruppe erfasst.

Abbildung 1 stellt die Teilnehmerentwicklung über den Studienzeitraum dar. Insgesamt wurde die Intervention von 5 Teilnehmer (WB-EMS: n=2 vs. HIT: n=3) abgebrochen. Die Gründe für den Studienabbruch sind Abb. 1 zu entnehmen. Die Anwesenheitsrate lag mit 93,3 $\pm$ 7,0% in der HIT und 89,5 $\pm$ 10,7% in der WBEMS-Gruppe ähnlich hoch (p=.171)

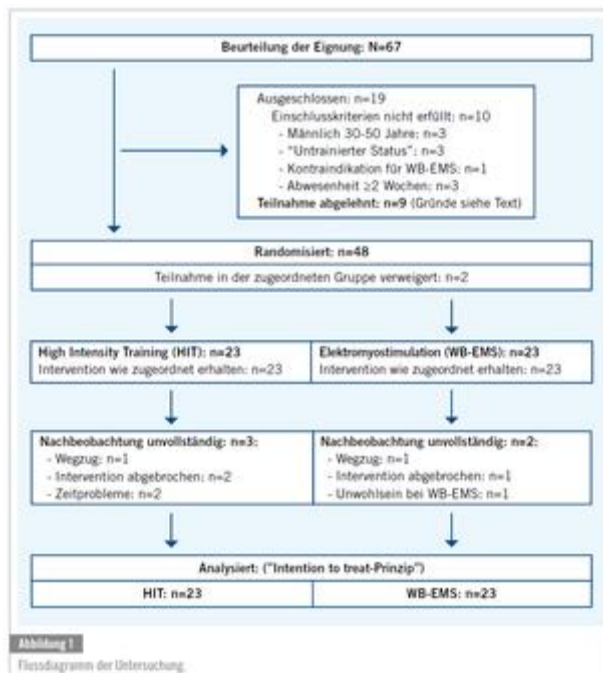


Abbildung 1  
Flussdiagramm der Untersuchung

hoch. Die effektive Trainingszeit, also die Dauer zur Durchführung des Trainingsprotokolls, betrug in der HIT-Gruppe  $30.3 \pm 2.3$  min, in der WB-EMS  $20 \pm 0$  min ( $p < .001$ ). Bezogen auf das Gesamt-Nettotrainingsvolumen war der Gruppenunterschied zugunsten der WB-EMS-Gruppe ( $403 \pm 87$  min vs. HIT:  $847 \pm 87$  min) noch etwas deutlicher ( $p < .001$ ). Die relative Reizintensität lag bei der WB-EMS-Applikation gemäß der Abgaben der Teilnehmer mit  $6.10 \pm 0.14$  konsistent im Zielvorgabe-Bereich zwischen RPE 5 ("hard") und 7 ("very hard"). Innerhalb der HIT-Gruppe wurde hingegen ein nahezu linearer Anstieg der RPE von  $4.75 \pm 0.28$  für den ersten, auf  $7.31 \pm 0.36$  für den letzten 4-Wochenabschnitt angegeben, wobei die jeweiligen regenerativen Trainingswochen nicht in diese Berechnung eingingen. Während der TE oder des Interventionszeitraumes kam es zu keinen Verletzungen oder gesundheitlichen Problemen, die in Zusammenhang mit der Intervention standen.

### Primärer

### Studienendpunkt

Die gesamte fettfreie Masse (LBM) stieg in beiden Gruppen (HIT:  $1,24 \pm 1,40\%$  vs. WB-EMS:  $0,91 \pm 1,12\%$ ) signifikant ( $p \leq .003$ ) und ohne signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p = .406$ ) an (Tab. 3).

### Sekundäre

### Studienendpunkte

Das oben aufgeführte Ergebnis wird durch die noch etwas deutlicheren ( $p < .001$ ) Veränderungen der appendikulären fettfreien Masse (ASMM) (HIT:  $1,92 \pm 1,51\%$  versus WB-EMS:  $1,52 \pm 1,48\%$ ), ebenfalls ohne Unterschiede ( $p = .341$ ) zwischen den Gruppen bestätigt (Tab. 3).

Die dynamische Maximalkraft der Beinextensoren zeigte bei günstigen Veränderungen (HIT:  $13,5 \pm 13,9\%$ ,  $p < .001$  vs. WB-EMS:  $8,0 \pm 10,2\%$ ,  $p = .008$ ) keine signifikanten Unterschiede ( $p = .332$ ) zwischen den beiden Gruppen (Tab. 3). Dieser Effekt blieb auch nach Adjustierung auf die grenzwertig (nicht) signifikant unterschiedlichen basalen Werte konsistent ( $p = .348$ ). Ebenfalls keine signifikanten Zwischengruppenunterschiede (HIT:  $10,4 \pm 9,0\%$ ,  $p < .001$  versus  $11,7 \pm 9,9\%$ ,  $p < .001$ ) wurde für die statische Maximalkraft der Rumpfextensoren nachgewiesen ( $p = .609$ ) (Tab. 3).

Zusammenfassend werden unsere Hypothesen 1 und 2a somit abgelehnt, während Hypothese 2b, wenn auch nicht im beabsichtigten Kontext, angenommen werden kann.

**Tabelle 3**  
 Basale Daten, absolute Veränderungen nach 16-wöchiger Intervention und weitere statistische Größen für primäre (LBM), sekundäre (ASMM; Maximalkraft Bein- und Rückenextensoren) und experimentelle (gesamtes und abdominales Körperfett) Endpunkte in der HIT- und WB-EMS-Gruppe. <sup>a</sup>—Die Daten in Klammern repräsentieren das Signifikanzniveau der Veränderung.

	HIT (N=20) (MV ± SD)	WB-EMS (N=22) (MV ± SD)	DIFFERENZ MV; 95%-KI	P	( <sup>a</sup> )
<b>Fettfreie Masse (LBM) [kg]<sup>b</sup> (primärer Studienendpunkt)</b>					
Basal	68,24 ± 7,38	67,49 ± 7,33	-	0,875	-
Differenz	8,49 ± 1,059 (<.001) <sup>c</sup>	6,13 ± 1,848 (.003)	2,36; -305 bis 295	0,406	0,25
<b>Appendikuläre fettfreie Masse (ASMM) [kg] (sekundärer Studienendpunkt)</b>					
Basal	31,00 ± 3,62	31,31 ± 3,96	-	0,784	-
Differenz	5,98 ± 4,53 (<.001)	4,76 ± 4,13 (<.001)	1,22; -123 bis 322	0,341	0,28
<b>Dynamische Maximalkraft Beinstrecker [N] (sekundärer Studienendpunkt)</b>					
Basal	3201 ± 783	3605 ± 506	-	0,05	-
Differenz	431 ± 553 (<.001)	287 ± 458 (.008)	144; -144 bis 429	0,332	0,28
<b>Statische Maximalkraft Rumpfextension [N] (sekundärer Studienendpunkt)</b>					
Basal	289,9 ± 73,1	291,5 ± 62,7	-	0,939	-
Differenz	30,3 ± 25,0 (<.001)	34,3 ± 29,3 (<.001)	4,0; -11,3 bis 19,5	0,609	0,15
<b>Gesamte Körperfettmasse [kg] (experimenteller Studienendpunkt)</b>					
Basal	23,09 ± 7,00	24,32 ± 7,23	-	0,259	-
Differenz	-1,002 ± 1,541 (.004)	-991 ± 926 (<.001)	800; -705 bis 702	0,975	0,008
<b>Abdominale Körperfettmasse [g] (Experimenteller Studienendpunkt)</b>					
Baseline	3397 ± 1481	4006 ± 1430	-	0,106	-
Differenz	-176 ± 379 (.033)	-241 ± 288 (.001)	230; -255 bis 322	0,499	0,019

### Experimentelle

### Studienendpunkte

Die Zielparame- ter gesamt- er Körperfettanteil (TF) und abdominale Körperfettmasse (AF) reduzierten sich in beiden Gruppen jeweils signifikant (-4,1±7,4% bis 5.9±6,2%; p=.031 - p<.001, Tab. 3), ohne dass sich signifikante Unterschiede (TF: p=.975; AF: p=.499) zwischen der HIT- und WB-EMS-Gruppe nachweisen ließen (Tab. 3).

### Beeinflussende

### Variablen,

### Störfaktoren

Die Energiezufuhr erhöhte sich in beiden Gruppen (HIT: 2.9±9.9%, p=.413 vs. WB-EMS: 7.8±10.6%, p=.010), ohne signifikanten Unterschied zwischen HIT und WB-EMS (p=.159). Auch die relative Proteinzufuhr (g/kg/d) stieg in beiden Gruppen an (HIT: 8.3±21.6%, p=.349 vs. WB-EMS: 11.0±17.5%, p=.030), ohne Differenzen zwischen den Gruppen aufzuweisen (p=.685). Keiner der Teilnehmer gab an, während des Studienzeitraumes diätische Maßnahmen zur Körpermasse- oder Körperfettreduktion durchgeführt zu haben.

Die Veränderungen von beruflicher und freizeitlicher körperlicher Aktivität waren gering (4,4±9,8%, p=.650) und variierten zwischen den Gruppen nicht (p=.793). Auch die Veränderung des körperlichen Trainings außerhalb der Studienintervention war in beiden Gruppen ähnlich niedrig (HIT: 5±33 vs. WB-EMS 10±44 min/Woche; p=.786). Auf Nachfrage gaben je ein Teilnehmer der HIT- und WB-EMS-Gruppe an, über den gesamten Studienzeitraum ein Ausdauertraining (ca. 120 bzw. 150 min/Wo.) durchgeführt zu haben.

Teilnehmer mit Erkrankungen oder Medikamenteneinnahme mit relevantem Effekt auf unseren primären Endpunkt „LBM“ wurden nicht in die Studie eingeschlossen, entsprechende Veränderungen während des Interventionszeitraumes wurden nicht berichtet.

## DISKUSSION

Zeiteffizienz, hohe Individualisierbarkeit und geringe Gelenksbelastung machen Ganzkörper-Elektromyostimulation ohne Zweifel zu einer Bereicherung der fitnessorientierten Trainingslandschaft.



Ist die Effektivität dieser alternativen Trainingsmethode auf muskuloskeletale Größen mit hohem Evidenzgrad nachgewiesen (15, 20, 21, 31, 34), so wurde die relative Wirksamkeit im Vergleich zum bezüglich „Zeiteffizienz“ konkurrierenden State of the Art, der HIT-Methodenvariante (10), bislang nicht thematisiert. Gleichwohl postuliert die Fitnessindustrie eine „18-fach höhere Effektivität“ des WB-EMS – ohne jedoch die adressierten Parameter/Endpunkte anzugeben. Wahrscheinlich basiert diese Aussage auf der vielfach höheren Kreatinkinase-Auslenkung nach WB-EMS im Vergleich zu konventionellem Krafttrainingsprotokollen (31, 32). Im Gegensatz dazu wurde von uns, nach vergleichender Analyse eigener Studienergebnisse (16, 17, 18, 19, 20), eine signifikante Überlegenheit des HIT bezüglich Verbesserung der fettfreien Körpermasse sowie der dynamischen Maximalkraft beim relevanten Kollektiv untrainierter Männer mittleren Alters erwartet. Das vorliegende Ergebnis, dass beide Trainingsprotokolle ähnlich effektiven Einfluss auf die Körperzusammensetzung und, aus biometrischer Sicht etwas weniger belastbar, die Kraft nehmen, weist unsere Hypothesen letztlich zurück. Betrachtet man die LBM-Veränderungen beider Methodenvarianten, so liegt diese im Bereich einer vorliegende Metaanalyse (28) etwas älterer Menschen, die allerdings Hochvolumenprotokolle (HVT) einschloss, welche als vergleichsweise effektiver eingestuft wurden. Auch bezogen auf die Kraftzunahme gesunder, untrainierter Teilnehmer, sind positive Effekte bei HIT (9), aber auch WB-EMS-Training unbestritten (8). Die maximale isometrische und dynamische Kraftzunahme aus der vorliegenden Studie ist den Ergebnissen bereits durchgeführter WB-EMS-Studien mit ähnlichem (Strom-)Protokoll, allerdings mit trainierten Probanden (2, 3, 4, 20, 31) sehr ähnlich. Leider existieren keine Untersuchungen, die einen direkten Vergleich der Kraftentwicklung durch WB-EMS vs. HIT bei untrainierten männlichen Kollektiven durchführen. Weicht man, die Problematik unterschiedlicher (Strom-)Belastungsprotokolle außer Acht lassend, auf Studien mit lokaler EMS-Applikation aus, so zeigen die wenigen Untersuchungen heterogene Ergebnisse mit teils besseren Effekten durch EMS (1), teils durch willkürliches Krafttraining (13, 27) oder keinen Unterschied (6, 24, 26). Hainault und Duchateau (12) schlussfolgerten daher, dass „die Kraftzugewinne durch EMS vergleichbar, aber nicht größer sind, als durch willentliches Training“.

Mit Blick auf die Zeiteffizienz sind trotz signifikantem Unterschied beide Methodenvarianten für Personen mit knappen zeitlichen Ressourcen geeignet. Effektiv betrug die Zeitdauer des WB-EMS 30 min, diejenige des HIT 60 min/Woche. Auch bei hinzurechnen von Transfer- und Rüstzeiten korrespondiert der entsprechende Zeitaufwand gut mit dem vom statistischem Bundesamt errechnete Budget von ca. 25 min/Tag für Sport/körperliche Bewegung (7). Ebenfalls ähnlich hoch lag die Attraktivität des Trainings (Anwesenheitsraten:  $\pm 90\%$ ), beides Faktoren welche die Aufnahme und/oder Aufrechterhaltung des Sporttreibens günstig beeinflussen.

Einige Besonderheiten und Studiencharakteristika sollten bei der Interpretation unsere Ergebnisse bedacht werden.

1. Insbesondere das HIT-Protokoll der 4. Trainingsphase wurde als  $\geq$  „sehr hart“ (7,31 auf Borg CR 10) empfunden. Über die niedrige Trainingsfrequenz und regelmäßige Regenerationsphasen halten wir die Kompensationsdauer aber für ausreichend.

2. Die Interventionsdauer war mit 16 Wochen relativ kurz, aber u. E. nach ausreichend, relevante

Veränderung der Muskelmasse/LBM zu erfassen (30).

3. Die Generalisierbarkeit unserer Ergebnisse ist aufgrund der Fokussierung auf untrainierte Männer mittleren Alters etwas eingeschränkt. Die Entscheidung, diese Zielgruppe auszuwählen, stand mit deren beruflicher Einbindung, knappen zeitlichen Ressourcen (7), besonderer gesundheitlicher Risikosituation (25) und sportlichen Zielen (Kraft-, Muskelaufbau) dieser Gruppe in Verbindung (3). Die ASMM diene uns als u. a. als konfirmativer Parameter für die LBM. Prinzipiell könnte die Veränderung der fettfreien Masse (LBM) auch mit Massenveränderungen von Organen zusammenhängen. Faktisch ist eine trainingsinduzierte Veränderung der Organe jedoch (zumindest mittels DXA-Technik) kaum nachweisbar und als lediglich marginaler Störfaktor einzuschätzen. Trotzdem wurde zusätzlich die „appendikuläre skeletale Muskelmasse“ (ASMM) herangezogen, die diese Problematik zwar nicht aufweist, allerdings lediglich die Extremitäten in die Analyse einschließt. Da beide Größen eine übereinstimmende Entwicklung zeigten ( $r=0.092$ ), kann, als zusätzliche Beobachtung, von einer harmonischen Entwicklung der Muskulatur an Extremitäten und Rumpf ausgegangen werden.

4. Da die Untersuchung nicht auf den Endpunkt „Kraft“ gepowert war, sind diese Ergebnisse mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren.

Für Männer in mittlerem Lebensalter erscheinen beide Methodenvarianten, HIT und WB-EMS, gleichermaßen als attraktive, zeiteffiziente und effektive Trainingsmethoden zur günstigen Beeinflussung von Fitness, Kraft, Muskelmasse und Körperfett. Durch die vergleichsweise geringere Popularität eines konsequenten HIT bei Frauen, könnte WB-EMS auch für diese Gruppe eine gute Möglichkeit darstellen, Fitness und Körperzusammensetzung zeiteffizient zu optimieren. Diese Spekulation, die durch den hohen Anteil weiblicher WB-EMS-Nutzerinnen gestützt wird, ist allerdings noch durch zukünftige Untersuchungen zu sichern.

## DANKSAGUNG

### **Hinweis auf Unterstützung und Zusammenarbeit**

Wir danken dem Fitness- und Gesundheitszentrum „Benevital“ (Herzogenaurach, Deutschland), und dem Gesundheitssportverein „Netzwerk Knochengesundheit e.V.“, (Erlangen, Deutschland) ganz herzlich für die Unterstützung.

### **Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen:**

Keine

## LITERATUR

1. ALON G, MCCOMBE SA, KOUTSANTONIS S, STUMPHAUZER LJ, BURGWIN KC, PARENT MM, BOSWORTH RA. : Comparison of the effects of electrical stimulation and exercise on abdominal musculature. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1987; 8: 567-573.  
[doi:10.2519/jospt.1987.8.12.567](https://doi.org/10.2519/jospt.1987.8.12.567)

2. **BOECKH-BEHRENS W, BENDEL M.:** *Krafttraining durch Elektromyostimulation? Empirische Untersuchung zu den Krafteffekten bei einem Elektromyostimulationstraining am BodyTransformer mit Variation der Belastungsdichte.* Bayreuth Institut für Sportwissenschaften der Universität Bayreuth 2005.
3. **BOECKH-BEHRENS W, MAINKA D. :** *Krafttraining durch Elektromyostimulation? Empirische Untersuchung zu den Krafteffekten bei einem Elektromyostimulationstraining am Body Transformer mit Variation der Trainingsdauer.* Bayreuth Institut für Sportwissenschaften der Universität Bayreuth 2006.
4. **BOECKH-BEHRENS W, TREU S. :** *Vergleich der Trainingseffekte von Konventionellem Krafttraining, maxxF und EMS-Training in den Bereichen Körperzusammensetzung, Körperformung, Kraftentwicklung, Psyche und Befindlichkeit.* Bayreuth: Institut für Sportwissenschaften der Universität Bayreuth 2002.
5. **BORG E, KAIJSER L. :** *A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests.* *Scand J Med Sci Sports.* 2006; 16: 57-69.  
[doi:10.1111/j.1600-0838.2005.00448.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00448.x)
6. **CURRIER DP, MANN R. :** *Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals.* *Phys Ther.* 1983; 63: 915-921.
7. **DESTATIS. :** *Zeitverwendungserhebung. Aktivitäten in Stunden und Minuten für ausgewählte Personengruppen.* Statistisches Bundesamt Wiesbaden 2015.
8. **FILIPOVIC A, KLEINODER H, DORMANN U, MESTER J.:** *Electromyostimulation--a systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters.* *J Strength Cond Res.* 2011; 25: 3218-3238.  
[doi:10.1519/JSC.0b013e318212e3ce](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318212e3ce)
9. **FRÖHLICH J, IMRICH E, SCHMIDTBLEICHER D. :** *Outcome effects of single set vs. multiple-set training - an advanced replication study.* *Res Sports Med.* 2010; 18: 157-175.  
[doi:10.1080/15438620903321045](https://doi.org/10.1080/15438620903321045)
10. **FRÖHLICH M, EMRICH E, SCHMIDTBLEICHER D. :** *Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung.* *Sportwissenschaft.* 2006; 36: 269-291.
11. **GIESSING J, PREUSS P, GREIWALD A, GÖBEL SMA, SCHISCHEK A, STEPHAN A. :** *Fundamental definitions of decisive training parameters of single-set training and multiple-set training.* In: J Gießing, M Fröhlich, P Preuss editors. *Current results of strength training research.* Göttingen: Cuvillier; 2005, pp. 9-23.
12. **HAINAUT K, DUCHATEAU J.:** *Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise.* *Sports Med.* 1992; 14: 100-113.  
[doi:10.2165/00007256-199214020-00003](https://doi.org/10.2165/00007256-199214020-00003)
13. **HALBACH JW, STRAUS D. :** *Comparison of Electro-Myostimulation to isokinetic power in increasing power of the knee extensor mechanism.* *JOSPT.* 1980; 2: 20-24.  
[doi:10.2519/jospt.1980.2.1.20](https://doi.org/10.2519/jospt.1980.2.1.20)
14. **KASTNER A, BRAUN M, MEYER T. :** *Two Cases of Rhabdomyolysis After Training With Electromyostimulation by 2 Young Male Professional Soccer Players.* *Clin J Sport Med.* 2015; 25: e71-3.  
[doi:10.1097/JSM.0000000000000153](https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000153)

15. **KEMMLER W, BEBENEK M, ENGELKE K, VON STENGEL S.** : *Impact of whole-body electromyostimulation on body composition in elderly women at risk for sarcopenia: the Training and ElectroStimulation Trial (TEST-III).* *Age (Dordr).* 2014; 36: 395-406.  
[doi:10.1007/s11357-013-9575-2](https://doi.org/10.1007/s11357-013-9575-2)
16. **KEMMLER W, BIRLAUF A, VON STENGEL S.** : *Einfluss von Ganzkörper-Elektromyostimulation auf das Metabolische Syndrom bei älteren Männern mit metabolischem Syndrom.* *Dtsch Z Sportmed.* 2010; 61: 117-123.
17. **KEMMLER W, ENGELKE K, VON STENGEL S.** : *Ganzkörper-Elektromyostimulation zur Prävention der Sarkopenie bei einem älteren Risikokollektiv. Die TEST-III Studie.* *Dtsch Z Sportmed.* 2012; 63: 343-350.  
[doi:10.5960/dzsm.2012.044](https://doi.org/10.5960/dzsm.2012.044)
18. **KEMMLER W, LAUBER D, ENGELKE K, WEINECK J.** : *Effects of single- vs. multiple-set resistance exercise training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women.* *J Strength Cond Res.* 2004; 18: 689-694.
19. **KEMMLER W, VON STENGEL S, BEBENEK M, WITTKA A.** : *Effekte unterschiedlicher Krafttrainingsprogramme auf das metabolische Syndrom. Die PUSH-Studie (Abstract 32).* *Dtsch Z Sportmed.* 2014; 63: 191.
20. **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.* 2010; 24: 1880-1887.  
[doi:10.1519/JSC.0b013e3181ddae4ee](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddae4ee)
21. **KEMMLER W, TESCHLER M, BEBENEK M, VON STENGEL S.** : *Effekt von Ganzkörper-Elektromyostimulation auf die übergreifende sportmotorische Leistungsfähigkeit im Handball (Abstract 375).* *Dtsch Z Sportmed.* 2011; 62: 271.
22. **KEMMLER W, TESCHLER M, VON STENGEL S.** : *Effekt von Ganzkörper-Elektromyostimulation – „A series of studies“.* *Osteologie.* 2015; 23: 20-29.
23. **KEMMLER W, WEINECK J, KALENDER WA, ENGELKE K.** : *The effect of habitual physical activity, non-athletic exercise, muscle strength, and VO<sub>2</sub>max on bone mineral density is rather low in early postmenopausal osteopenic women.* *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2004; 4: 325-334.
24. **KUBIAK RJ, WHITMAN KM, JOHNSTON RM.** : *Changes in quadriceps femoris muscle strength using isometric exercise versus electrical stimulation.* *J Orthop Sports Phys Ther.* 1987; 8: 537-541.  
[doi:10.2519/jospt.1987.8.11.537](https://doi.org/10.2519/jospt.1987.8.11.537)
25. **LADEMANN J, KOLIP P.** : *Gesundheit von Frauen und Männern im mittleren Lebensalter.* Berlin: RKI 2005.
26. **MATSUSE H, SHIBA N, UMEZU Y, NAGO T, TAGAWA Y, KAKUMA T, NAGATA K, BASFORD JR.** : *Muscle training by means of combined electrical stimulation and volitional contraction.* *Aviat Space Environ Med.* 2006; 77: 581-585.
27. **MOHR T, CARLSON B, SULENTIC C, LANDRY R.** : *Comparison of isometric exercise and high volt galvanic stimulation on quadriceps femoris muscle strength.* *Phys Ther.* 1985; 65: 606-612.
28. **PETERSON MD, SEN A, GORDON PM.** : *Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: a meta-analysis.* *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 43: 249-258.  
[doi:10.1249/MSS.0b013e3181eb6265](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181eb6265)

29. **RÜTTEN A, ABU-OMAR K, MEIERJÜRGEN R, LUTZ A, ADLWARTH R.** : Was bewegt die Nicht-Beweger? *Präv Gesundheitsf.* 2009; 4: 245-250.  
[doi:10.1007/s11553-009-0173-1](https://doi.org/10.1007/s11553-009-0173-1)
30. **SEYNNES OR, DE BOER M, NARICI MV.** : Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to highintensity resistance training. *J Appl Physiol.* 2007; 102: 368-373.  
[doi:10.1152/jappphysiol.00789.2006](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00789.2006)
31. **SPEICHER U, KLEINÖDER H.** : Moderne Trainingsregulation zur Effektivitätsprüfung aktueller Krafttrainingsverfahren. *Differentielle Kraftdiagnostik und moderne Trainingsregulation.* In: BISP editor. *BISP Jahrbuch 2008.* Köln: Bundesinstitut für Sportwissenschaften; 2008.
32. **TESCHLER M, WEISSENFELS A, VON STENGEL S, KEMMLER W.:** Ganzkörper-Elektromyostimulation (WB-EMS) und Kreatinkinase (CK) – Facts over Philosophy (Abstract 83). *Dtsch Z Sportmed.* 2015; 66: 194.
33. **VATTER J.** : Elektrische Muskelstimulation als Ganzkörpertraining - Multicenterstudie zum Einsatz von Ganzkörper-EMS im Fitness-Studio. München: AVM-Verlag 2010.
34. **VON STENGEL S, BEBENEK M, ENGELKE K, KEMMLER W.:** Whole-Body Electromyostimulation to Fight Osteopenia in Elderly Females: The Randomized Controlled Training and Electrostimulation Trial (TEST-III). *J Osteoporos.* 2015; 2015: 1-7.  
[doi:10.1155/2015/643520](https://doi.org/10.1155/2015/643520)
35. **WIRTZ M, CASPAR S.** : Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen. Göttingen: Hogrefe Verlag; 2008.

**Prof. Dr. Wolfgang Kemmler**  
**Friedrich-Alexander Universität Erlangen (FAU)**  
**Institut für Medizinische Physik**  
**Henkestrasse 91, 91054 Erlangen**  
**wolfgang.kemmler@imp.uni-erlangen.de**