

Projekt GERKO

Evaluation der (**G**anzkörper-) **E**lektromyostimulation im Rahmen der stationären **R**ehabilitation **k**ardiologischer und **o**rthopädischer Patienten mittels randomisiert-kontrollierter Studie

Abschlussbericht des Institutes für Rehabilitationsforschung Norderney e.V. (IfR)

Juli 2020

Institut für Rehabilitationsforschung Norderney e.V. (IfR)

Abteilung Ennepetal, Klinik Königsfeld

Prof. Frank C. Mooren

Dr. Marc Teschler

M.A. Melina Heimer

Dr. Boris Schmitz

Antragstellender und beantragende Institutionen

Institut für Rehabilitationsforschung Norderney

Abteilung Ennepetal

Prof. med. Frank C. Mooren

Klinik Königsfeld der Deutschen Rentenversicherung Westfalen

Holthäuser Talstraße 2, 58256 Ennepetal

Telefon: 02333/9888-101

frank.mooren@drv-westfalen.de

Laufzeit des Projektes: 01.04.2018 bis 30.06.2020

Thema des Projektes:

Pilotstudie zum Thema Elektromyostimulation in der stationären Rehabilitation:
Umsetzung/Implementierung und Effekte auf Muskelfunktion und Kraft.

Projektleiter:

Prof. Frank C. Mooren

Dr. Marc Teschler

Projektmitarbeiter/Innen:

M.A. Melina Heimer

Dr. Bettina Begerow

Dr. Boris Schmitz

Danksagungen

Wir bedanken uns herzlich bei

- VfR Norderney für die Förderung des Projektes
- den MitarbeiterInnen der Klinik Königsfeld für die geleistete Arbeit und Unterstützung

Ennepetal, Juni 2020

Inhalt

Zusammenfassung.....	4
Hintergrund und Fragestellung	4
Methoden	5
Ergebnisse.....	5
Zusammenfassung und Schlussfolgerung	6
1 Stand der Forschung und Problemstellung.....	7
Stand der Forschung.....	7
2 Fragestellungen für die Rehabilitation	9
3 Methoden	10
3.1 Studiendesign	10
Einschlusskriterien	11
Ausschlusskriterien	11
3.2 Studienablauf.....	12
Rekrutierung	12
Intervention	12
3.3 Outcome	14
3.4 Diagnostik	14
Anthropometrische Datenerhebung	15
Kraft- und Funktionsdiagnostik.....	15
Blutentnahme	16
Fragebögen	17
4 Ergebnisse	17
Primäre Endpunkte.....	17
Funktionelle Leistungsfähigkeit	17
Kraftparameter	18
Sekundäre Endpunkte	19
5 Diskussion und Schlussfolgerung.....	22
6 Umsetzungsempfehlungen	25
Tabellenverzeichnis.....	26
Abbildungsverzeichnis.....	26
Literaturverzeichnis.....	27

Zusammenfassung

Hintergrund und Fragestellung

Der Begriff „Sarkopenie“ bezeichnet einen altersassoziierten übermäßigen Verlust an Muskelmasse mit einer entsprechenden Reduktion auch an Muskelkraft. Neben dieser Reinform gibt es Überlappungen mit der Kachexie, der Gewichtsabnahme bei meist chronischen, inflammatorischen Reaktionen sowie der Malnutrition. Veränderungen der Muskelmasse haben dabei sowohl für den Metabolismus, insbesondere Glukose- und Fettstoffwechsel, sowie funktionelle Einschränkungen eine gewisse Bedeutung. Die Reduktion der Muskelkraft schränkt die Verrichtung alltäglicher Aufgaben und die gesellschaftliche Teilhabe ein.

Für die Arbeit in einer Rehabilitationsklinik stellen sarkopenische Patienten eine besondere Herausforderung dar, weil sie aufgrund ihres muskulär stark dekonditionierten Status' nur eingeschränkt an den Bewegungsangeboten teilnehmen können. Zusätzlich erreichen sie aufgrund ihrer Limitationen häufig keine relevanten Trainingsimpulse, so dass im Rehabilitationsverlauf nur sehr geringfügige physiologische Adaptationen und Verbesserungen die Regel sind.

Untersuchungen in der gesamten Breite, von neurologischen Krankheitsbildern wie der Muskeldystrophie bis hin zum Top-Athleten im Leistungssport, zeigen, dass Elektromyostimulation (EMS) zusätzlich zu normalen mechanischen Stimuli, Muskelmasse und insbesondere Muskelfunktionalität deutlich verbessern kann. Aufgrund unterschiedlicher Applikationsformen (Umfang und Reizschemata) ist man jedoch weit davon entfernt, einheitliche Vorgaben geben zu können. Zudem bleiben auch noch viele Fragen hinsichtlich der Kinetik von Veränderungen offen.

Die vorliegende Untersuchung setzt sich zum Ziel, die Anwendbarkeit von EMS im Verlauf eines vierwöchigen Rehabilitationsaufenthaltes zu prüfen. Als Zielgruppe für die Studie dienen sarkopenische Patienten mit kardiologischen und orthopädischen Krankheitsbildern. Als Hauptzielparameter wird hierfür die Veränderung der Muskelkraft und Muskelfunktion definiert. Zudem sollen Fragen zur optimalen Anwendungsmöglichkeit im Sinne einer

Ganzkörper- und Teilkörperstimulation beantwortet werden und mögliche Effekte mit Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit des Rehabilitationsaufenthaltes.

Methoden

Ziel der Intervention sind sarkopenische Patienten, charakterisiert nach dem Kriterium einer reduzierten Muskelmasse definiert durch die „Foundation for the National Institutes of Health (FNIH)“ (1). Die reduzierte Muskelmasse definiert sich demnach über die Muskelmasse der Extremitäten (appendikuläre skelettale Muskelmasse, ASMM) dividiert durch den Body-Mass-Index (BMI) und gilt als wesentliches Einschlusskriterium. Die Grenzwerte liegen für Männer bei $< 0,789$ und für Frauen bei $< 0,512$.

Zur Erfassung der definierten primären Endpunkte (Basal und Follow-up) durchlaufen eligible Patienten eine Testbatterie bestehend aus „Chair-Rising-Test (CRT)“ und „6-Minute-Walking-Test (SMWT)“ (Muskelfunktion) sowie eine isometrische Kraftmessbatterie zur Erhebung der Bein-, Arm- und Rumpfkraft (jeweils Extension und Flexion). Sekundäre Endpunkte werden mittels Blutentnahme (hämolytische Parameter), Bioimpedanz-Analyse (BIA, Körperzusammensetzung) und Fragebögen (Lebensqualität, Selbstwirksamkeit) erhoben.

Alle Teilnehmer trainieren im 4-wöchigen Rehabilitationsverlauf je zweimal pro Woche für jeweils zusätzlich 20 Minuten entsprechend der Randomisierung in 3 Gruppen: 1) Ganzkörper-Elektromyostimulation (WB-EMS), 2) Teilkörper-EMS (PB-EMS; Stimulation der unteren Extremitäten inkl. Gesäß) oder 3) aktive Kontrollgruppe (CG). Eine Trainingseinheit (TE) besteht aus einem dynamischen Bewegungsprogramm im Stand, zusammengesetzt aus 2 Sätzen à 7 Übungen mit jeweils 8 Wiederholungen (resp. 16 Whd. bei unilateralen Bewegungen) und einer finalen Übung à 6 Wiederholungen. Alle TEs werden in einem 2:1-Verhältnis (2 TN) in Anwesenheit eines qualifizierten Übungsleiters (1 ÜL) durchgeführt.

Ergebnisse

Wir fanden signifikante Zeit*Gruppen-Interaktionseffekte in Bezug auf Muskelfunktion (CRT; $p=0.001$) und Kraft (Beinstreckung; $p=0.014$). Bezüglich des CRT verbesserte sich beide EMS-Gruppen (WB-EMS: $p=0.003$ und PB-EMS: $p=0.009$) im Vergleich zur CG signifikant, während für den SMWT nur ein Trend zwischen den Gruppen erkennbar war ($p=0.094$).

Die Beinstreckung unterschied sich zwischen WB-EMS vs. CG ($p=0.011$) signifikant, jedoch nicht für PB-EMS vs. CG ($p=0.336$). Zusätzlich beobachteten wir einen Trend hin zur

unterschiedlichen Verbesserung der Armstreckung zwischen WB-EMS vs. PB-EMS ($p=0.066$) sowie der Rumpfbeugung zwischen WB-EMS und CG ($p=0.084$).

Für die sekundären Parameter, wie Blutparameter, Körperzusammensetzung sowie Lebensqualität und Selbstwirksamkeit konnten keine Zwischengruppen-Unterschiede verzeichnet werden, allerdings zeichnet sich ein genereller positiver Trend hinsichtlich der Anwendung von WB-EMS ab.

Insgesamt wurden keine unerwünschten Ereignisse verzeichnet.

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Bereits nach knapp 4-wöchiger Interventionsphase mit lediglich 6 zusätzlichen Trainingseinheiten zeigt (WB-) EMS teilweise signifikante Verbesserungen von Muskelfunktion und Muskelkraft verglichen mit einer aktiven Kontrollgruppe. (WB-) EMS stellt somit eine vielversprechende, sichere und effektive Trainingsmethode zur Implementation in die Rehabilitation dar, die für sarkopenische Patienten mit orthopädischer u.o. kardiologischer Vorindikation zusätzliche Gesundheits-Benefits zu liefern im Stande ist.

1 Stand der Forschung und Problemstellung

Stand der Forschung

Mittlerweile beschreiben eine Reihe von Untersuchungen, dass neben der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit auch die Kraftleistungsfähigkeit positiven Einfluss auf die Prognose chronisch kranker Menschen hat (2). Die Kraftleistungsfähigkeit korreliert stark positiv mit der Muskelmasse, womit der Muskelmasse sowohl in funktionaler als auch metabolischer Sicht für die Patienten eine wichtige Rolle zu kommt. Die Abnahme der Muskelmasse ist zunächst ein alters-assoziiertes Prozess, erstmals 1988 von Rosenberg als Sarkopenie bezeichnet. Dennoch wurden erst kürzlich einheitliche diagnostische Kriterien formuliert um Sarkopenie als klinische Auffälligkeit zu charakterisieren (3). Seit Januar 2018 ist Sarkopenie im ICD-10-GM Version 2018 des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information als Diagnoseschlüssel aufgeführt (M.62.84).

Neben physiologischen Veränderungen kommt es im Rahmen einer Reihe von chronischen internistischen und orthopädischen Krankheitsbildern zu einer Verschlimmerung krankheitsbedingter Veränderungen. So zeigen eine Reihe chronischer Erkrankungen, wie z.B. die Herzinsuffizienz, bedingt durch katabole, systemische Auswirkungen, u.a. chronischer Stress- und Entzündungszustand, eine ausgeprägte Kachexie, d.h. eine Gewichtsabnahme mit übermäßigem Abbau der Muskelmasse. Dies geht einher mit einer ausgeprägten Belastungsintoleranz der Patienten. Diese ist bei einem Herzinsuffizienz-Patienten nicht nur Ausdruck der eingeschränkten kardialen Leistungsfähigkeit, sondern auch einer reduzierten muskulären Struktur und Funktion (4). Die reduzierte kardiale Pumpfunktion führt zu einem zunehmenden Abbau der Muskulatur.

Muskuläre Dekonditionierung durch reduzierte Inanspruchnahme der Muskulatur ist auch für Patienten aus orthopädischen Formenkreis mit Cox- oder Gonarthrose charakteristisch. Hier kommt es zu ausgeprägten, muskulären Atrophien verbunden mit häufig auftretenden Dysbalancen aufgrund unterschiedlicher Belastbarkeit der gesunden und erkrankten Seite. Zusätzlich beeinflussen Operationsverfahren die Muskelkraft, die häufig auch noch viele Monate nach der Operation Auffälligkeiten zeigt (5).

Erhalt und Aufbau der Skelettmuskulatur ist daher ein wichtiges therapeutisches Ziel im Rehabilitationsprozess. Neben der Bewegungs- und Sporttherapie hat sich in den letzten

Jahren die Elektromyostimulation (EMS) als eine neue alternative Trainingsmethode entwickelt. Hier werden Muskeln mittels externer elektrischer Reize zum Kontrahieren stimuliert. Die Reize werden dabei mittels großflächiger Oberflächenelektroden über die Haut appliziert. Dies führt zu einer direkten Stimulation intramuskulärer neuronaler Strukturen ohne Aktivierung motorischer Nerven. Wesentliche Parameter der EMS sind Impulsdauer, Frequenz und Stromstärke, die leider in den bisherigen Studien sehr unterschiedlich angewandt wurden und damit auch die Vergleichbarkeit einschränken können.

Während früher üblicherweise lokal stimulierende Systeme eingesetzt wurden (vor allem Gesäß- und Beinmuskulatur), werden mittlerweile auch Ganzkörpersysteme (Ganzkörper-EMS, WB-EMS) verwendet, die sich deutlich im Hinblick auf die dezidiert angesteuerte Muskelfläche unterscheiden.

Initial entwickelt für Patienten mit neurologischen Krankheitsbildern mit Muskeldystrophie oder Paraplegie, ist EMS in den letzten Jahren auch im Gesundheits- und Leistungssport erfolgreich eingesetzt worden (6). Eine Reihe von Studien zeigen mittlerweile auch die Wirksamkeit dieses Verfahrens bei kardiologischen Krankheitsbildern. So belegen Metaanalysen, dass Teilkörper-EMS bei Patienten mit Herzinsuffizienz zu signifikanten Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme und auch des 6-Minuten-Gehtests führen kann (7, 8). Hierbei sind die Veränderungen häufig nicht so ausgeprägt wie bei regelmäßigem sportlichem Training, zeigen aber gegenüber nicht trainierenden Kontrollpersonen deutliche Effekte (8). Chen et al. (2016) wiesen einen gesteigerten Effekt von EMS auf Beinkraft, Gehstrecke und allgemeine Ausdauer bei Patienten mit moderater bis schwerer COPD nach (9). Selbst Trainingszeiträume von nur 4 Wochen waren effektiv in der Verbesserung der Muskelkraft (10, 11). Allerdings gibt es auch negative Berichte wie eine multizentrische Studie, die keinen Effekt eines zusätzlichen EMS-Trainings gegenüber dem regulären körperlichen Training nachweisen konnte (12). Die genannten Studien arbeiteten ansonsten nahezu ausschließlich im Bereich 60-100Hz. Gerade die methodischen Unterschiede machen eine abschließende Bewertung des Einsatzes von EMS zum jetzigen Zeitpunkt nahezu unmöglich. Hinzu kommt, dass die bisherigen Daten meist auf dem Einsatz lokaler Stimulation beruhen.

Im orthopädischen Bereich gibt es Untersuchungen zum Einsatz von lokaler Muskelstimulation nach Hüft- oder Kniegelenkersatz. Diese zeigen positive Effekte auf Muskelkraft, welche als

wichtiger physiologischer Indikator für die funktionelle Unabhängigkeit der Patienten darstellt (13).

Zum Einsatz von WB-EMS existieren zusehends mehr wissenschaftliche Untersuchungen. Neben der Wirksamkeit hinsichtlich physiologischer und kardialer Funktionsparameter bei Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz (14) belegen mittlerweile auch mehrmonatige Studien Effekt auf Leistungsparameter, Körperzusammensetzung und mittlerweile auch Sarkopenie-relevante Parameter.

Hintergrund der Überlegungen für den vorliegenden Forschungsantrag ist, mit EMS hinsichtlich Dauer und Intensität optimierte Trainingsimpulse zu setzen, die Patienten mit dekonditioniertem, sarkopenischen Zustand und den daraus resultierenden, eingeschränkten Belastbarkeiten nicht mehr eigenständig erreichen können. Es stellt sich hier die Frage, welche Effekte EMS im Setting eines 4-wöchigen Rehabilitationsaufenthaltes erzielen kann.

2 Fragestellungen für die Rehabilitation

Aus den vorab genannten Problemstellungen zu den Themen EMS und stationäre Rehabilitation leiten sich eine Vielzahl von Fragestellungen ab.

Zunächst interessiert, 1) wie sich EMS als additive Therapieform zum konventionellen Bewegungsprogramm im Rahmen eines vierwöchigen Rehabilitationsaufenthaltes bei sarkopenischen Patienten hinsichtlich einer Verbesserung von Muskelfunktion und Muskelkraft auswirkt. 2) Gibt es Unterschiede in der Wirksamkeit bei unterschiedlichen Umsetzungsformen von EMS, z.B. der Vergleich von Ganzkörper- verglichen mit Teilkörperstimulation (ausschließliche Applikation an der Gesäß- und Beinmuskulatur). 3) Führt die zusätzliche Anwendung von EMS gegenüber einem normalen Bewegungsprogramm zu Verbesserungen der Lebensqualität und Selbstwirksamkeit der Patienten am Ende des Reha-Aufenthaltes.

Konkret formulieren wir, dass 1) EMS als begleitende Therapieform innerhalb eines vierwöchigen Rehabilitationsaufenthaltes verglichen zu konventionellen Bewegungsprogrammen bei sarkopenischen Patienten zu einer signifikanten Verbesserung der Muskelfunktion bzw. -kraft führt.

Zudem erwarten wir, dass 2) Ganzkörper-EMS eine bessere Wirksamkeit bezüglich funktioneller Leistungsparameter wie Muskelkraft und Muskelfunktion zeigt als Teilkörper-EMS und 3) die Anwendung der EMS in einer verbesserten Lebensqualität und Selbstwirksamkeit der Patienten am Ende des Rehabilitationsaufenthaltes führt.

3 Methoden

Ziel der Intervention sind sarkopenische Patienten, die gemäß eines der primären Kriterien für Sarkopenie der "Foundation for the National Institutes of Health (FNIH)" über den Begriff "Reduzierte Muskelmasse" charakterisiert wurden (1, 3). Entscheidendes Einschlusskriterium war eine reduzierte Muskelmasse, definiert über die Summe der Muskelmasse der Extremitäten (appendikuläre Muskelmasse) dividiert durch den Body-Mass-Index (ASMM/BMI). Die Grenzwerte liegen hier bei < 0.789 für Männer und < 0.512 für Frauen.

Andere Kriterien wie das jeweilige Krankheitsbild, Alter, Dauer vorheriger, stationärer Aufenthalte etc. treten in den Hintergrund. Dennoch wurden entsprechende Daten im Rahmen der Studie erfasst, um nachfolgend ggf. entsprechende Subgruppenanalysen durchführen zu können. Zudem wurde auf die Fokussierung eines Patientenkollektivs (orthopädisch/kardial) verzichtet, um die indikationsübergreifende Anwendbarkeit von EMS zu untersuchen, um eine zukünftig bessere Verzahnung der Indikationsbereiche zu unterstützen.

3.1 Studiendesign

Bei dem vorliegenden Projekt handelt es sich um eine prospektive, monozentrische randomisierte Pilotstudie mit 3 Studienarmen:

- (1) Ganzkörper-EMS (WB-EMS): gleichzeitige Stimulation von 8 dezidiert ansteuerbaren Muskelgruppen
- (2) Teil-Körper-EMS (PB-EMS): Stimulation der unteren Extremitäten (Oberschenkel und Gesäß)
- (3) aktive Kontrollgruppe (CG)

Alle Gruppen durchliefen das standardisierte Rehabilitationsverfahren und erhielten während eines 4-wöchigen Aufenthaltes zusätzlich 6 Trainingseinheiten entsprechend ihrer Randomisierung.

Die Studie wurde zwischen April 2018 und Juni 2020 an der Klinik Königsfeld der DRV Westfalen, Ennepetal, Deutschland durchgeführt. Sie entspricht der Helsinki Declaration „Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects“ und wurde von der Ethikkommission der Universität Witten/Herdecke (#91/2018) genehmigt. Zudem wurde die Studie unter ClinicalTrials.gov (NCT03767088) registriert. Alle Teilnehmer wurden vor Beginn der Intervention umfassend informiert und mussten ihre schriftliche Zustimmung zur Teilnahme abgeben.

Aus Sicherheitsgründen wurde die Studie rechtzeitig zu Beginn der COVID-19-Pandemie abgebrochen.

Einschlusskriterien

- (1) Sarkopenie-Definition gemäß FNIH:
Quotient der ASMM durch den BMI ($< .789$ für Männer, $< .0512$ für Frauen)
- (2) Alter ≥ 18 Jahre
- (3) kardiologische oder orthopädische Indikation
- (4) Bereitschaft zur schriftlichen Zustimmung der Teilnahme

Ausschlusskriterien

- (1) Patienten nach ACVB Operation innerhalb der letzten 3 Monate
- (2) chronische Nierenerkrankung Stufe IIIa
- (3) Medikation mit Einfluss auf den Muskelstoffwechsel
- (4) Herzschrittmacher/Defibrillator/Event-Rekorder
- (5) Epilepsie
- (6) Akute Infektion/Krankheit
- (7) Schwangerschaft

3.2 Studienablauf

Rekrutierung

Im Rahmen der klinischen Aufnahme wurde bei allen Neu-Anreisenden neben einem Ruhe-EKG eine Bioimpedanzanalyse (BIA; siehe Abbildung 1) durchgeführt. Diese galt als Berechnungsgrundlage für die Sarkopenie-Definition der FNIH. Über den Quotienten der ASSM durch den BMI wurden geeignete Kandidaten umgehend an Tag 1 identifiziert und diesen nach kurzer Rücksprache eine schriftliche Teilnehmer-Information (siehe Anhang) ausgehändigt.

Über die Therapiesteuerung wurden identifizierte, potenzielle Studienteilnehmer für den kommenden Tag (Tag 2) für ein 10-minütiges Informations-/Aufklärungsgespräch terminiert. Das Gespräch fand bereits im entsprechenden Trainingsraum statt, um den Kandidaten das Projekt direkt vor Ort etwas umfassender erklären zu können und offene Fragen aus dem Weg zu räumen. Am Ende des Gesprächs stand meist die Entscheidung über die Bereitschaft zur Teilnahme fest.

Bei Zustimmung wurde den Teilnehmern umgehend eine Einwilligungserklärung und ein initialer Fragebogen ausgehändigt, der bis zum Folgetag ausgefüllt werden sollte. In Rücksprache mit der Therapiesteuerung wurde für Tag 3 die Eingangs-Diagnostik verplant.

Tag 3: Mit der Aushändigung der unterschriebenen Einwilligungserklärung galt der Patient als „Eingeschlossen“ und die Eingang-Diagnostik wurde durchgeführt. Am Ende der Diagnostik stand die selbstständige randomisierte Zuteilung in eine der 3 Trainingsgruppen.

Intervention

Alle Teilnehmer erhielten zusätzlich zum standardisierten Rehabilitationsprogramm 6 zusätzliche Trainingseinheiten (TE) von jeweils 20min/TE, immer unter Anleitung eines qualifizierten Trainers. In 2-er-Gruppen wurde 2-mal pro Woche (Montag/Donnerstag oder Dienstag/Freitag) trainiert. Alle Teilnehmer durchliefen das gleiche standardisierte, videoanimationsgestütztes Bewegungsprogramm bestehend aus 2 Sätzen mit je 7+1 Übungen mit jeweils 8 Wiederholungen (resp. 16 Whd. bei alternierenden Bewegungen) durchweg im Stand. Einen genauen Überblick über das Bewegungsprogramm liefert Tabelle 1.

Tabelle 1: Übungen während einer Trainingseinheit

Übung	Wiederholungen
1. Kniebeuge mit Bizeps Curl	8
2. Kniebeuge mit Armstreckung	8
3. Diagonaler Crunch	16 (abwechselnd)
4. Rückwärtiger Ausfallschritt	16 (abwechselnd)
5. Ein-Bein-Stand mit Beinbeugung	8 (abwechselnd)
6. Rumpfbeugung (Crunch) im Stand	8
7. Kniebeuge mit Arm/Brustpressen	8
Nach den 2 Sätzen (2x Übung 1-7):	
8. Kniebeuge und Reverse Butterfly	6

Notiz: Die Übungsabfolge einer 20-minütigen Trainingseinheit bestand aus 2 Sätzen (Übungen 1-7) und einem finalen Satz (Übung 8)

Die Videounterstützung ermöglichte es dem Trainer zum einen direkt auf Korrekturen in der Bewegungsausführung hinzuweisen und zum anderen, speziell in der CG, die ohne den taktilen Reiz des Stromes trainierte, Bewegungsanleitungen zu geben.

Zum Einsatz kam das MPG-zugelassene EMS Equipment der Firma miha body-tec (Gersthofen, Deutschland). Das System besteht aus einem Modul (Body-II) zur Belastungssteuerung sowie einem Elektrodensystem, bestehend aus einer adjustierbaren Weste für den Oberkörper, sowie bilaterale Elektroden-Manschetten für Arme, Beine und das Gesäß (siehe Abb. XY).



Abb. 1: WB-EMS-Steuermodul mit den 8 (bis max. 10) dezidierbar ansteuerbaren Muskelgruppen und videoanimiertem Bewegungsprogramm

Es wurde zweiphasiger, rechteckiger Strom (85Hz) mit einer Impulsbreite von 350 μ s und einem Impulsanstieg von 0,4s appliziert, ähnlich wie in vorherigen Studien beschrieben. Die Trainingsintensität für jede Muskelgruppe wurde während der ersten Trainingseinheit in enger Rücksprache mit dem Teilnehmer angepasst. Hierzu wurde mit der 6-20 Borg Skala zur Bewertung der subjektiv wahrgenommenen Belastung/Erschöpfung (rating of perceived exertion; RPE) gearbeitet. Diese Vorgehensweise ist nötig, da EMS keine valide objektive Belastungsempfehlung ermöglicht, was auf individuelle Parameter wie unterschiedliches (lokales) Körperfett, Hautdicke und Muskelmasse sowie eine gewisse Tagesform-Abhängigkeit zurück zu führen ist, wodurch die Toleranz des Stroms beeinflusst wird. Um eine anfängliche Überlastung der Teilnehmer zu vermeiden, sollte die Trainingsintensität von anfänglich 11/12 (leicht) RPE über die TEs auf RPE 17/18 (sehr anstrengend) in der finalen Einheit gesteigert werden. Die Belastung wurde innerhalb einer TE alle 3-4 min individuell in Rücksprache mit dem Trainierenden gesteigert und die Intensitätseinstellungen individuell auf personalisierten Chip-Karten gespeichert.

Um einer Überforderung der Teilnehmer entgegen zu steuern wurde ein Stromprotokoll von 4 s Stromapplikation vs. 4 s Pause (1:1-Verhältnis) gewählt. Die Stromphase wurde zur exzentrischen Bewegungsausführung genutzt, wohingegen in der Ruhe-/Pausenphase die Ausgangsposition eingenommen werden sollte.

3.3 Outcome

Als primärer Endpunkt wurden die Verbesserungen der Muskelfunktion und Muskelkraft herangezogen. Muskelfunktion wurde mittels eines „Chair Rise Test“ (CRT) und eines 6-Minute Walking Test (SMWT) erhoben. Muskelkraft wurde mittels einer isometrischen Kraftmessung für die Arm-, Bein- und Rumpfmuskulatur erhoben.

Sekundäre Endpunkte waren Veränderungen der Körperzusammensetzung, Blutparameter, Lebensqualität und Selbstwirksamkeit nach dem 4-wöchigen stationären Aufenthalt.

3.4 Diagnostik

Alle durchgeführten Tests wurden mit den gleichen kalibrierten Geräten und Hilfsmitteln von denselben Testleitern in festen Zeitfenstern durchgeführt (+/- 2h). Die Diagnostik fand aufgrund des ohnehin engen Zeitfensters nie später als am dritten Tag nach der Anreise statt,

die finale Messung am Tag vor der Abreise. Zur Standardisierung der Testdurchführung wurde viel Wert auf vereinheitlichte verbale Testanweisungen gelegt.

Anthropometrische Datenerhebung

Anthropometrische Daten wurden während der Erstuntersuchung unter Verwendung medizinischer Standardausrüstung für die Körpergröße erhoben (seca 216, seca, Hamburg, Deutschland). Gewicht, fettfreie Körpermasse (LBM) und Körperfettmasse (BFM) wurden mittels direkt-segmentaler, mehrfrequenter bioelektrischer Impedanzanalyse gemessen (DSM-BIA, Inbody720, Biospace, Seoul, Korea). Unter Verwendung eines taktilen Acht-Punkt-Elektrodensystems ermöglicht die BIA eine separate Analyse für die Extremitäten und den Rumpf (siehe Abb. 2).



Abb.2: Bioimpedanzanalyse Inbody720

Kraft- und Funktionsdiagnostik

Die primären Endpunkte Muskelkraft und -funktion wurde durch eine Testbatterie ermittelt. Die Patienten wurden einer isometrischen Krafttestdiagnostik unterzogen (DIERS Myoline Professional, DIERS Biomedical Solutions, Schlangenbad, Deutschland), bei der die (bilaterale) konzentrische Bein-, Arm- und Rumpfkraft gemessen wurde. Für jede Muskelgruppe wurden



isometrischen Kraftfähigkeiten

Streckung und Beugung in einer individuell angepassten Sitzposition bestimmt und es wurden jeweils 3 maximale willentliche Wiederholungen mit jeweils 30 s Pause durchgeführt. Der beste Maximalwert wurde für die Analyse berücksichtigt. Um die Messungen zu standardisieren, wurden die Einstellungen jedes einzelnen Teilnehmers aufgezeichnet und bei der Nachkontrolle wiederverwendet.

Abb.3: myoline Professional zur Messung der

Projekt GERKO: Abschlussbericht

Die Muskelfunktion bzw. die Verknüpfung aus Kraft und Koordination der Beinmuskulatur wurde wie beschrieben mit dem CRT getestet. Beginnend in sitzender Position, Arme vor der Brust verschränkt, wurden die TN angewiesen so viele Wiederholungen wie möglich während einer 10 s-Periode durchzuführen. Knie und Hüfte mussten vollständig gestreckt sein um als gültige Wiederholung akzeptiert und für die Analyse in Betracht gezogen zu werden. Die Sitzhöhe nicht auf unterschiedliche Beinlängen eingestellt.

Der aerobe SMWT, der als Langzeitprädiktor für funktionelle Einschränkungen, kardiovaskuläre Mortalität und (Wieder-)Hospitalisierung bekannt ist, war nächster Bestandteil der Testbatterie. Unter standardisierten Bedingungen wurde der Test indoor auf einer ebenen Fläche durchgeführt. Der Teilnehmer war angehalten in 6 Minuten so weit wie möglich zu gehen.

Als Teil der klinischen Routine wurde ein Standard-Belastungs-EKG gemäß dem WHO-Stufenprotokoll durchgeführt, beginnend bei 25 W mit einer Steigerung von 25 W alle 2 Minuten bis zur individuellen Ausbelastung. Die Tests wurden mit dem Elektrokardiogramm GE eBike, KISS mit der zugehörigen Software CardioSoft (GE Healthcare Technology GmbH, Illinois, USA) durchgeführt. Ermittelt wurden die Gesamttrainingsdauer (s), die Maximalwerte für die Leistungsabgabe (W), die Herzfrequenz (HR) und der arterielle Blutdruck. Die Patienten wurden angewiesen, den Test bis zur maximalen Ausbelastung durchzuführen, definiert über die periphere Müdigkeit oder, falls erforderlich, den Abbruch aufgrund elektrokardiographischer Anomalien. Die Daten wurden zur Berechnung des maximalen metabolischen Äquivalents (MET) nach Ainsworth et al. verwendet.

Blutentnahme

Am zweiten Tag der Rehabilitation sowie am Abreisetag wurde zwischen 7:00 und 7:30 Uhr nüchtern im Sitzen Blut aus einer Ellbogenvene entnommen. Alle Blutproben wurden vom SYNLAB MVZ Labor GmbH (Leverkusen, Deutschland) analysiert. Als relevante Parameter wurden Glukose, Harnsäure, Triglyzeride, Gesamtcholesterin, High-Density-Lipoprotein (HDL), Low-Density-Lipoprotein (LDL), Kreatinkinase (CK) und Myoglobin analysiert.

Zur Absicherung und Kontrolle der initialen Trainingsbelastung nach WB-EMS wurden die Teilnehmer der WB-EMS-Gruppe 3 Tage nach ihrer ersten Trainingssitzung auf mögliche Erhöhungen von Markern der Muskelschädigung (z.B. CK) getestet.

Fragebögen

Die deutsche Version der Kurzform (36) der Gesundheitsumfrage (SF-36; 4-Wochen-Version) wurde zur Beurteilung der Lebensqualität verwendet. Die SF-36 Unterskalen zur physischen und psychischen Komponente (PCS/MCS) wurden nach Ware et al. berechnet.

4 Ergebnisse

Die Studie wurde nach dem Einschluss von 134 Patienten vorzeitig aufgrund der COVID-19 Pandemie abgebrochen. Diesem Abbruch vielen leider 6 Teilnehmer zum Opfer, zudem mussten 6 weitere Teilnehmer im Verlaufe der 18-monatigen Interventionszeit aus unterschiedlichen Gründen das Training abbrechen, womit final 122 Teilnehmer in die Analyse eingehen konnte. Die Erfüllung von 98 % der Trainingseinheiten zeigt eine sehr hohe Akzeptanz des zusätzlichen Trainingsprogramms in allen drei Gruppen.

Primäre Endpunkte

Als primäre Endpunkte waren die funktionale muskuläre Leistungsfähigkeit, erfasst über den CRT und SMWT, und Muskelkraft definiert.

Funktionelle Leistungsfähigkeit

Mit einer Verbesserung von 27,2 % in der WB-EMS-Gruppe und 29,1 % in PB-EMS zeigt sich für beide Stimulationsgruppen ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Leistungsfähigkeit im CRT verglichen mit der aktiven Kontrollgruppe, die sich lediglich um 12,9 % verbessern konnte. Zudem verbesserten sich beide EMS-Gruppen (10,7 %) zusammengenommen signifikant im SMWT gegenüber der Kontrollgruppe.

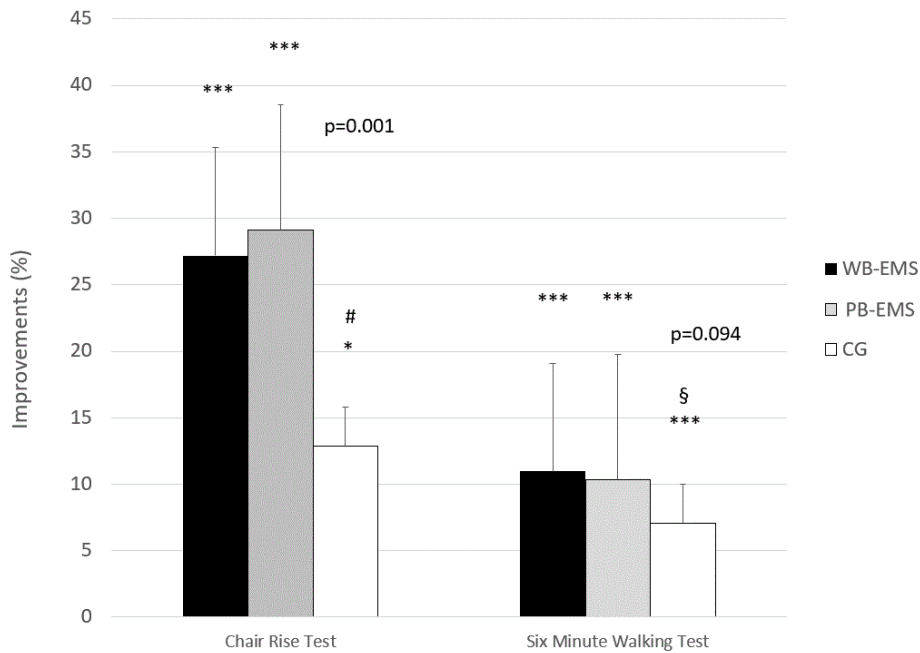


Abb. 4: Veränderungen der Muskelfunktion; p-Werte beschreiben Zeit x Gruppeneffekt; * signifikante Zeit-Effekte innerhalb der jeweiligen Gruppe ***: $p < .001$; #: signifikant zu WB-EMS nach one-way ANOVA; §: signifikant verglichen zu Gesamt-EMS nach two-way ANOVA

Kraftparameter

Alle Kraftwerte und Veränderungen sind in Tabelle 2 einsehbar.

Die durchschnittliche prozentuale Verbesserung aller erhobenen Kraftparameter zeigt den Einfluss von WB-EMS. Mit einer durchschnittlichen Steigerung von 28,7 % liegt die Kraftverbesserung in der WB-EMS-Gruppe signifikant über der Entwicklung der beiden anderen Gruppen (PB-EMS: 17,9 %, CG: 18,4 %).

Isoliert gesehen zeigt speziell die Beinkraft aufgrund des Bewegungsmusters während der Trainingseinheiten erwartungsgemäß eine signifikante Steigerung. Mit jeweils knapp 22 % Kraftsteigerung zeigen sich beide EMS Gruppen besser ausgeprägt als CG mit 14 %. Zudem definiert sich der Unterschied zwischen WB-EMS und CG als signifikant.

Bei der Armstreckung zeigt die zusätzliche Strom-Applikation an den Armen in der WB-EMS-Gruppe signifikante Verbesserung gegenüber der PB-EMS (24,3 % vs. 10,7 %).

Tabelle 2: Veränderungen der Kraftparameter

Parameter		WB-EMS (n=47)	PB-EMS (n=37)	Kontrollgruppe (n=38)	Zeit x Gruppe (p)
Beinstreckung (N)	Prä	692.3 ± 248.6	682.8 ± 257.8	638.5 ± 236.9	
	Post	831.7 ± 298.7***#	790.2 ± 270.2***	703.2 ± 218.6***	.014
	[%]	22.1 ± 19.3	22.2 ± 35.7	13.9 ± 19.1	
Beinbeugung (N)	Prä	215.9 ± 107.2	211.3 ± 94.0	207.2 ± 105.7	
	Post	271.6 ± 124.3***	256.3 ± 121.6***	244.2 ± 108.7***	.400
	[%]	35.6 ± 43.6	25.2 ± 31.9	22.7 ± 25.3	
Armstreckung (N)	Prä	477.8 ± 207.5	471.4 ± 185.2	455.7 ± 156.5	
	Post	593.4 ± 341.6***§	508.2 ± 187.9***	519.6 ± 169.3***	.060
	[%]	24.3 ± 33.2	10.7 ± 23.9	17.8 ± 27.6	
Armbeugung (N)	Prä	455.4 ± 202.0	452.3 ± 201.1	417.0 ± 173.3	
	Post	540.6 ± 192.0***	531.2 ± 188.9***	494.0 ± 173.1***	.592
	[%]	27.7 ± 40.2	18.0 ± 24.8	23.7 ± 29.0	
Rückenstreckung (N)	Prä	416.5 ± 199.8	453.2 ± 211.0	398.9 ± 162.2	
	Post	518.7 ± 223.7***	515.3 ± 206.5***	454.3 ± 147.4***	.114
	[%]	32.7 ± 42.3	20.9 ± 33.0	18.9 ± 27.2	
Rumpfbeugung (N)	Prä	160.7 ± 59.5	142.0 ± 47.7	140.5 ± 44.6	
	Post	196.7 ± 110.2**	155.1 ± 48.1**	147.5 ± 44.6**	.063
	[%]	26.4 ± 45.2	12.0 ± 24.0	8.0 ± 22.5	
Durchschnittliche Kraftveränderung	[%]	28.7 ± 19.2 ##	17.9 ± 18.8	18.4 ± 14.5	-

Notiz: Mittelwert ± SD; p-Werte: Zeit×Gruppeneffekte; * signifikanter Zeiteffekt innerhalb der Gruppe ***: p<.001; **: p<.01; #: signifikant im Vergleich zur Kontrolle durch einseitige ANOVA; ##: signifikant im Vergleich zu PB-EMS und Kontrolle via one-way ANOVA; ¥: signifikante Unterschiede zwischen EMS (WB+PB-EMS) vs. Kontrolle durch wiederholte Messungen two-way ANOVA; §: signifikant im Vergleich zu PB-EMS durch ungepaarten t-Test.

Sekundäre Endpunkte

Die sekundären Endpunkte sollen aufgrund ihres Umfangs tabellarisch dargestellt werden (siehe Tabelle ff.).

Mit Blick auf die Körperzusammensetzung zeigten sich ein signifikanter Zeiteffekt für alle 3 Gruppen (siehe Tabelle 2), der Trend hinsichtlich einer WB-EMS-Applikation ist erkennbar, allerdings ohne statistische Signifikanzen.

Tabelle 3: Veränderungen der Körperzusammensetzung

Parameter		WB-EMS (n=47)	PB-EMS (n=37)	Kontrollgruppe (n=38)	Zeit x Gruppe (p)
Körperzusammensetzung					
BMI (kg/cm ²)	[%]	-1.6 ± 2.4***	-0.9 ± 2.9***	-0.9 ± 3.0***	.364
Gesamtkörperfett (kg)	[%]	-3.6 ± 3.8***	-2.5 ± 5.2***	-1.9 ± 6.2***	.298
Viszerales Fett (cm ²)	[%]	-3.4 ± 4.6***	-3.0 ± 6.0***	-0.7 ± 8.8***	.170

Notiz: Mittelwert ± SD; p-Werte: Zeit×Gruppeneffekte; *: signifikanter Zeiteffekt innerhalb der Gruppe ***: p<.001.

Hinsichtlich der Blutparameter (Tabelle 4) zeigen sich unterschiedliche Zeiteffekte für unterschiedliche Parameter. Die einzige Zwischengruppen-Signifikanz zeigt die LDL-Entwicklung, eine Auffälligkeit, die in der Diskussion kurz beleuchtet werden soll.

Tabelle 4: Veränderung der Blutparameter

Parameter		WB-EMS (n=47)	PB-EMS (n=37)	Kontrollgruppe (n=38)	Zeit x Gruppe (p)
Blutwerte					
Glukose [mg/dl]	Prä	108.3 ± 34.5	107.4 ± 19.9	108.7 ± 23.5	-
	[d]	-5.8 ± 17.6***	-2.0 ± 16.4***	-8.0 ± 16.9***	.388
Triglyceride [mg/dl]	Prä	174.5 ± 143.7	156.7 ± 60.9	146.4 ± 71.7	-
	[d]	-24.0 ± 133.0*	-14.1 ± 30.0*	-18.5 ± 50.6*	.998
Cholesterin [mg/dl]	Prä	192.7 ± 62.5	191.0 ± 48.1	184.6 ± 44.5	-
	[d]	-10.1 ± 44.1***	-32.9 ± 34.3***	-21.3 ± 23.4***	.062
HDL [mg/dl]	Prä	44.0 ± 8.0	41.7 ± 8.5	44.1 ± 12.5	-
	[d]	-2.5 ± 4.0***	-3.6 ± 4.9***#	-1.6 ± 3.9***	.233
LDL [mg/dl]	Prä	129.6 ± 41.5	126.5 ± 36.0	118.3 ± 42.4	-
	[d]	-11.5 ± 20.9***	-26.8 ± 27.5***	-14.5 ± 18.9***	.033
CK [U/l]	Prä	130.1 ± 90.1	134.5 ± 116.8	169.4 ± 159.6	-
	[d]	167.5 ± 365.0**	152.0 ± 409.5**	-10.7 ± 106.2**	.064
Myoglobin [U/l]	Prä	45.3 ± 20.6	49.7 ± 16.8	73.2 ± 85.1	-
	[d]	15.3 ± 41.4	20.5 ± 59.7	-12.2 ± 80.3	.183

Notiz: Mittelwert ± SD; p-Werte: Zeit×Gruppeneffekte; *: signifikanter Zeiteffekt innerhalb der Gruppe ***: p<.001;

** : p<.01; * : p<.05; #: signifikant vgl. mit WB-EMS via one-way ANOVA.

Die Analyse der Lebensqualität (Tabelle 5) durch den SF-36 zeigt für jede Kategorien, außer der mentalen Gesundheit, einen signifikanten Zeiteffekt für alle 3 Gruppen über die 4 Wochen.

Die beiden gebildeten Subskalen zur physischen und mentalen (PCS und MCS) verhielten sich identisch.

Tabelle 5: Lebensqualität (SF-36)

Parameter		WB-EMS (n=47)	PB-EMS (n=37)	Kontrollgruppe (n=38)	Zeit x Gruppe (p)
SF-36 Kategorien					
Körperliche Funktionsfähigkeit	Prä	51.8 ± 61.5	48.9 ± 25.2	47.0 ± 26.1	-
	[d]	9.7 ± 20.1***	7.7 ± 22.5***	9.6 ± 19.3***	.897
Körperliche Rollenfunktion	Prä	27.7 ± 36.2	20.7 ± 35.1	22.3 ± 31.1	-
	[d]	18.9 ± 43.7***	24.4 ± 42.3***	14.2 ± 41.9***	.598
Emotionale Rollenfunktion	Prä	45.9 ± 44.0	40.0 ± 45.6	38.1 ± 45.0	-
	[d]	14.1 ± 40.5***	21.0 ± 61.1***	14.2 ± 44.3***	.785
Vitalität	Prä	35.1 ± 15.3	35.9 ± 20.2	34.9 ± 18.7	-
	[d]	12.2 ± 17.7***	12.1 ± 17.8***	10.5 ± 16.3***	.892
Mentale Gesundheit	Prä	43.7 ± 14.6	48.8 ± 18.2	45.5 ± 17.1	-
	[d]	3.3 ± 19.7	-5.1 ± 22.1	4.1 ± 22.3	.125
Soziale Funktionsfähigkeit	Prä	65.8 ± 28.1	64.9 ± 28.2	58.7 ± 27.1	-
	[d]	9.7 ± 24.6**	5.1 ± 24.0**	9.2 ± 25.8**	.676
Körperliche Schmerzen	Prä	42.3 ± 29.6	43.4 ± 26.8	46.0 ± 32.1	-
	[d]	15.1 ± 23.9***	8.1 ± 22.7***	7.0 ± 27.4***	.268
Allg. Gesundheitswahrnehmung	Prä	42.7 ± 17.6	45.7 ± 14.3	40.0 ± 17.9	-
	[d]	7.9 ± 15.9**	1.0 ± 20.9**	5.8 ± 17.9**	.240
Zsf. Körperliche Komponente (PCS)	Prä	32.7 ± 10.9	32.1 ± 10.1	31.9 ± 10.7	-
	[d]	6.3 ± 9.5***	4.6 ± 7.7***	4.2 ± 9.2***	.521
Zsf. Mentale Komponente (MCS)	Prä	38.0 ± 9.2	38.7 ± 11.1	36.7 ± 10.5	-
	[d]	3.7 ± 7.9***	2.3 ± 8.9***	4.0 ± 10.4***	.704

Notiz: Mittelwert ± SD; p-Werte: Zeit×Gruppeneffekte; *: signifikanter Zeiteffekt innerhalb der Gruppe ***: p<.001; **: p<.01.

5 Diskussion und Schlussfolgerung

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um ein Pilotprojekt, mit dem Ziel kurzfristige Effekte von (WB-)EMS im Rahmen eines 4-wöchigen stationären Rehabilitationsaufenthalts bei sarkopenischen Patienten zu evaluieren. Es zeigt sich, dass (WB-)EMS als ergänzende Trainingsapplikation bei diesem Klientel zu teilweise signifikanten Verbesserungen der Muskelfunktion und -kraft führt. Diese Endpunkte spielen auch perspektivisch im Hinblick auf weiterführende Verbesserungen der Gesundheit sowie für die Rückkehr an den Arbeitsplatz eine wichtige Rolle.

Kurz gesagt kann festgestellt werden, dass

- (1) nach WB-EMS verglichen mit PB-EMS und CG eine deutlich größerer durchschnittlicher Gesamtkraftzugewinn nachgewiesen werden kann,
- (2) speziell die Beinkraft in den beiden Stimulationsgruppen signifikant besser ausgeprägt war als in der CG, was sich auch im funktionellen CRT widerspiegelt
- (3) generell ein Trend hinsichtlich WB-EMS erkennbar ist, der allerdings bedingt durch hohe Standardabweichungen häufig statistisch limitiert wird.

Bisher haben sich nur wenige Studien mit dem Thema (WB-)EMS und Sarkopenie auseinandergesetzt. Trotz der teilweise längeren Interventionszeiträume dieser Studien, bewegt sich unsere 22 %-ige Steigerung der Beinkraft im Bereich dieser 6- bis 12-monatigen Studien. Besagte Studien arbeiteten mit vergleichbaren Protokollen von 1 – 1,5 Trainingseinheiten pro Woche.

Die signifikante gesteigerte Beinkraft korrespondiert entsprechend auch mit dem CRT, mit einer durchschnittlichen Steigerung von etwa 28 % in den beiden EMS-Gruppen verglichen mit 13 % in der CG. Hier werden Werte aus der Literatur deutlich übertroffen (6,5 %, (15)).

Die Ergebnisse für den SMWT (10,7 %) sind zudem deckungsgleich mit den Werten nach einem 12-wöchigem ambulanten Training mit akuten Krebspatienten (16).

Die Entwicklung im Belastungs-EKG zeigt bei fehlendem Zwischengruppeneffekt auch einen Trend hinsichtlich WB-EMS mit 8,1 % verbesserter (längerer) Testdauer und einem Leistungsanstieg (in Watt) von 7,6 %. PB-EMS (beide 2,5 %) und CG (2,9 % und 4,3 %) zeigten hier einen gemäßigeren Anstieg.

Die beschriebenen Effekte nach EMS lassen sich auf verschiedene Aspekte herunterbrechen: Anfängliche Kraftverbesserungen, speziell bei Untrainierten, erklären sich zunächst durch eine funktionelle Anpassung des neuromuskulären Systems (17, 18). Diese Anpassungen scheinen durch EMS gefördert zu werden, wie die positiven Effekte dieser Studie zeigen, was wahrscheinlich auch auf die großflächige Stimulation zurück zu führen ist (19). Zudem sind Kraftzuwächse nicht zwangsläufig von einer genetischen Prädisposition oder Steigerung der Muskelmasse abhängig, da die Muskelmasse letztlich nur 3-5 % der Muskelkraft definiert (20). Dies zeigte sich bereits auch schon EMS-Studien, die einen dominanten Effekt auf Kraftzuwachs bei zeitgleich vernachlässigbarem Muskelmasseaufbau zeigen (21, 22).

Im Gegensatz dazu zeigen die Parameter der Körperzusammensetzung nach WB-EMS nur einen Trend hinsichtlich signifikanter Verbesserung, was höchstwahrscheinlich auf den eher kurzen Interventionszeitraum zurückzuführen ist. Nichtsdestotrotz werden die Veränderungen bei der Reduktion von Körpergewicht, TBF, BMI und viszeralem Fett (VF) beobachtet. Eine Vielzahl von Studien berichten von signifikanter Körperfettreduktion nach WB-EMS (22-26), ein Umstand, der auf der Beobachtung beruht, dass bereits eine einzige Sitzung WB-EMS den Ruheumsatz und damit den Fettstoffwechsel, zumindest bei gesunden Personen, für mehrere Stunden erhöhen kann (18). Langfristige Interventionen bei sarkopenischen, älteren Menschen berichteten nach 6-monatiger Intervention über einen Rückgang von bis zu 6,7 % bei TBF und 5,5 % bei VF (27). In unserer Studie fanden wir reduzierte VF und TBF für alle Gruppen mit einem Trend zu größeren Auswirkungen bei WB-EMS (TBF: -3,6 %; VF: -3,4 %) und PB-EMS (TBF: -2,5 %, VF: -3 %) im Vergleich zu CG (TBF: -1,9 %, VF: -0,7 %). Diese Ergebnisse sind von Interesse, da insbesondere VF einen starken und unabhängigen Prädiktor für die Gesamtmortalität aufgrund der damit verbundenen pro-inflammatorischen Effekte darstellt, die hauptsächlich die kardiovaskuläre Funktion verschlechtern (28).

Im Hinblick auf die anfänglich angewandte Sarkopenie-Definition und obwohl keine statistischen Zwischengruppenunterschiede in Bezug auf den SMI bestehen, stellen wir fest, dass 7 Probanden der WB-EMS-Gruppe (~15%) und 4 Probanden der PB-EMS-Gruppe (~11%) am Ende der Intervention nicht mehr in den Bereich einer definierten Sarkopenie fallen, verglichen mit nur einer Person in der CG (3%). Dieser offensichtliche Trend mit ausgeprägter

Wirkung auf die Sarkopenie nach EMS-Anwendung ist für beide Geschlechter getrennt erkennbar, jedoch ohne signifikante Zeit-Gruppen-Unterschiede.

Bezogen auf die metabolischen Anpassungen zeigt sich eine allgemeine Senkung des Gesamtcholesterinspiegels mit einer signifikant stärkeren Senkung des LDL-Cholesterinspiegels in der PB-EMS-Gruppe im Vergleich zur WB-EMS und CG. Da die Statin-Therapie initial in allen drei Gruppen ähnlich war und sich während der Intervention nicht veränderte, verhindert wohl die initial niedrigeren LDL-C-Werte in der Kontrollgruppe zu Studienbeginn einen potenziellen Effekt. Dennoch nähert sich die LDL-Reduktionen in allen Gruppen dem empfohlenen therapeutischen Niveau von < 100 mg/dl an oder erreichten dieses (29).

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass diese Pilotstudie im Rehabilitationssetting einem erhöhten Sicherheitsbewusstsein unterlag. So wurde ein reduziertes Belastungs-/Pause-Verhältnis von 4 s vs. 4 s (1:1) (26) gewählt, während andere Studien eine höhere Belastungszeit anwandten (6 s vs. 4 s) (21, 27). Um darüber hinaus die kürzlich berichtete anfängliche Überlastung durch zu intensive WB-EMS-Sitzungen mit (möglichen) nachfolgenden Muskelschäden und damit verbundene Rhabdomyolysen zu vermeiden (30-32), wurde strikt nach den entsprechenden Trainingsrichtlinien trainiert, welche entwickelt wurden, um eine schwere Kontraindikation auszuschließen (33). Bemerkenswert ist, dass während der Studie keine unerwünschten Nebenwirkungen beobachtet wurden, was das berichtete Protokoll auch für Patienten innerhalb einer medizinischen Rehabilitation als sicher charakterisiert. Die Überwachung der CK-Abweichungen drei Tage nach der ersten WB-EMS-Belastung zeigte im Mittel lediglich einen siebenfachen Anstieg, ein Anstieg der häufig auch bei herkömmlichen (anstrengenden) Krafttrainingsprotokollen beobachtet wird und dennoch unter der Definition einer milden Rhabdomyolyse (~1.700 U/l) liegt (34).

Es kann davon ausgegangen werden, dass eine höhere Intensität während der EMS-Stimulation zu weitreichenderen Verbesserungen geführt hätte. Eine Progression des RPE von anfänglich 13,5 ("etwas hart") bis zu 15 ("hart (schwer)") scheint jedoch ausreichend zu sein, um zusätzliche physiologische und klinische Vorteile zu induzieren.

Die vorgestellten Ergebnisse werden bei einer ausgewählten Gruppe von sarkopenischen Patienten in einer kontrollierten Umgebung der stationären medizinischen Rehabilitation erzielt. Auch wenn die Ergebnisse recht vielversprechend sind, sollte bei der Übernahme des

beschriebenen Protokolls in andere Rehabilitationsumgebungen, einschließlich der ambulanten Rehabilitation, dennoch Vorsicht geboten sein. Um eine mögliche Beeinflussung der Ergebnisse durch die ungleiche Geschlechterverteilung zwischen den Gruppen auszuschließen, zeigt die statistische Untersuchung für keinen der signifikant veränderten Parameter signifikante Veränderungen bezüglich der Geschlechterverteilung.

6 Umsetzungsempfehlungen

Das beschriebene (WB-)EMS-Protokoll zeigt sich gut verträglich, sicher und wirksam, um die Parameter der Muskelkraft und -funktion bei sarkopenischen Patienten mit orthopädischer und/oder kardiologischer Indikation zu verbessern.

Kurzzeit-(WB-)EMS kann eine vielversprechende Trainingsoption für diese Gruppe dekonditionierter Probanden auch im klinischen Umfeld zur Verbesserung der muskulären und funktionellen Fähigkeiten darstellen und kann die Standardrehabilitation zur Verbesserung der Gesundheitsergebnisse unterstützen. Dennoch ist weitere Forschung notwendig, um die langfristigen Auswirkungen von EMS in der medizinischen Rehabilitation zu untersuchen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übungen während einer Trainingseinheit.....	13
Tabelle 2: Veränderungen der Kraftparameter	19
Tabelle 3: Veränderungen der Körperzusammensetzung	20
Tabelle 4: Veränderung der Blutparameter	20
Tabelle 5: Lebensqualität (SF-36)	21

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: WB-EMS-Steuermodul mit den 8 (bis max. 10) dezidierbar ansteuerbaren Muskelgruppen und videoanimiertem Bewegungsprogramm.....	13
Abb.2: Bioimpedanzanalyse Inbody720.....	15
Abb.3: myoline Professional zur Messung der isometrischen Kraftfähigkeiten	15

Literaturverzeichnis

1. Studenski SA, Peters KW, Alley DE et al. The FNIIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2014;69(5):547-58.
2. Artero EG, Lee DC, Lavie CJ et al. Effects of muscular strength on cardiovascular risk factors and prognosis. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2012;32(6):351-8.
3. McLean RR, Kiel DP. Developing consensus criteria for sarcopenia: an update. *J Bone Miner Res*. 2015;30(4):588-92.
4. Kinugawa S, Takada S, Matsushima S, Okita K, Tsutsui H. Skeletal Muscle Abnormalities in Heart Failure. *Int Heart J*. 2015;56(5):475-84.
5. Winther SB, Husby VS, Foss OA et al. Muscular strength after total hip arthroplasty. A prospective comparison of 3 surgical approaches. *Acta Orthop*. 2016;87(1):22-8.
6. Filipovic A, Kleinoder H, Dormann U, Mester J. Electromyostimulation - a systematic review of the effects of different electromyostimulation methods on selected strength parameters in trained and elite athletes. *J Strength Cond Res*. 2012;26(9):2600-14.
7. Gomes Neto M, Oliveira FA, Reis HF, de Sousa Rodrigues E, Jr., Bittencourt HS, Oliveira Carvalho V. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation on Physiologic and Functional Measurements in Patients With Heart Failure: A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2016;36(3):157-66.
8. Smart NA, Dieberg G, Giallauria F. Functional electrical stimulation for chronic heart failure: a meta-analysis. *International journal of cardiology*. 2013;167(1):80-6.
9. Chen RC, Li XY, Guan LL et al. Effectiveness of neuromuscular electrical stimulation for the rehabilitation of moderate-to-severe COPD: a meta-analysis. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016;11:2965-75.
10. Zanotti E, Felicetti G, Maini M, Fracchia C. Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: effect of electrical stimulation. *Chest*. 2003;124(1):292-6.
11. 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*. 2006;129(6):1540-8.
12. Iliou MC, Verges-Patois B, Pavy B et al. Effects of combined exercise training and electromyostimulation treatments in chronic heart failure: A prospective multicentre study. *European journal of preventive cardiology*. 2017;24(12):1274-82.
13. Gremeaux V, Renault J, Pardon L, Deley G, Lepers R, Casillas JM. Low-frequency electric muscle stimulation combined with physical therapy after total hip arthroplasty for hip osteoarthritis in elderly patients: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89(12):2265-73.
14. van Buuren F, Mellwig KP, Frund A et al. [Electrical myostimulation: improvement of quality of life, oxygen uptake and left ventricular function in chronic heart failure]. *Rehabilitation (Stuttg)*. 2014;53(5):321-6.
15. Kemmler W, von Stengel S, Teschler M et al. Ganzkörper-Elektromyostimulation und Sarcopenic Obesity. *Osteologie*. 2016;25(3):204-11.
16. Schink K, Herrmann HJ, Schwappacher R et al. Effects of whole-body electromyostimulation combined with individualized nutritional support on body composition in patients with advanced cancer: a controlled pilot trial. *BMC Cancer*. 2018;18(1):886.

17. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M, Kraemer WJ, Hakkinen K. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol*. 2003;89(6):555-63.
18. Del Vecchio A, Casolo A, Negro F et al. The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *The Journal of physiology*. 2019;597(7):1873-87.
19. Hashida R, Takano Y, Matsuse H et al. Electrical Stimulation of the Antagonist Muscle during Cycling Exercise Interval Training Improves Oxygen Uptake and Muscle Strength [published online ahead of print, 2017 Dec 20]. *J Strength Cond Res*. 2017.
20. Ahtiainen JP, Walker S, Peltonen H et al. Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages. *Age*. 2016;38(1):10.
21. 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*. 2013;36(1):395-406.
22. Kemmler W, Weissenfels A, Teschler M et al. Whole-body electromyostimulation and protein supplementation favorably affect sarcopenic obesity in community-dwelling older men at risk: the randomized controlled FranSO study. *Clin Interv Aging*. 2017;12:1503-13.
23. Kemmler W, Teschler M, Weissenfels A et al. Effects of Whole-Body Electromyostimulation versus High-Intensity Resistance Exercise on Body Composition and Strength: A Randomized Controlled Study. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM*. 2016;2016:9236809.
24. Kemmler W, Teschler M, Weissenfels A et al. Whole-body electromyostimulation to fight sarcopenic obesity in community-dwelling older women at risk. Results of the randomized controlled FORMOsA-sarcopenic obesity study. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*. 2016;27(11):3261-70.
25. Fritzsche D, Freund A, Schenk S et al. Elektromyostimulation (EMS) bei kardiologischen Patienten. Wird das EMS-Training bedeutsam für die Sekundärprävention? *Herz*. 2010;35(1):34-40.
26. Kemmler W, Teschler M, von Stengel S. Effekt von Ganzkörper-Elektromyostimulation – „A series of studies“. *Osteologie* 2015;23(1):20-9.
27. Kemmler W, Grimm A, Bebenek M, Kohl M, von Stengel S. Effects of Combined Whole-Body Electromyostimulation and Protein Supplementation on Local and Overall Muscle/Fat Distribution in Older Men with Sarcopenic Obesity: The Randomized Controlled Franconia Sarcopenic Obesity (FranSO) Study. *Calcif Tissue Int*. 2018;103(3):266-77.
28. Rodriguez-Hernandez H, Simental-Mendia LE, Rodriguez-Ramirez G, Reyes-Romero MA. Obesity and inflammation: epidemiology, risk factors, and markers of inflammation. *International journal of endocrinology*. 2013;2013:678159.
29. Expert Panel on Detection E, Treatment of High Blood Cholesterol in A. Executive Summary of The Third Report of The National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, And Treatment of High Blood Cholesterol In Adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA*. 2001;285(19):2486-97.

30. Finsterer J, Stollberger C. Severe rhabdomyolysis after MIHA-bodytec(R) electrostimulation with previous mild hyper-CK-emia and noncompaction. *International journal of cardiology*. 2015;180:100-2.
31. Herzog A, Büchele F, Keller DI. Muskelschmerzen nach Elektromyostimulation. *Praxis*. 2017;106(20):1121-4.
32. Teschler M, Weissenfels A, Fröhlich M et al. (Very) High creatine kinase (CK) levels after Whole-Body Electromyostimulation. Are there implications for health? *Int J Clin Exp Med*. 2016;9(11):22841-50.
33. Kemmler W, Fröhlich M, von Stengel S, Kleinöder H. Whole-Body Electromyostimulation - The Need for Common Sense! Rational and Guideline for a Safe and Effective Training. *Dtsch Z Sportmed*. 2016;67:218-21.
34. Visweswaran P, Guntupalli J. Rhabdomyolysis. *Crit Care Clin*. 1999;15(2):415-+.