

Muskuläre Belastung unterschiedlicher Ganzkörper-Elektromyostimulations-(WB-EMS) Protokolle – eine Crossover-Untersuchung mit Sportlern ohne WB-EMS Erfahrung

Muscular Strain of Different Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) Protocols – a Crossover Study with Athletes without Experience in WB-EMS

Autor

Wolfgang Kemmler

Institut

Institute of Medical Physics, Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg, Erlangen

Schlüsselwörter

Elektromyostimulation, Rhabdomyolyse, Kreatinkinase, Impuls-Intensität, Impuls-Frequenz

Key words

Electromyostimulation, Rhabdomyolysis, creatine-kinase, impulse-intensity, impulse-frequency

eingereicht 30.07.2019

akzeptiert 25.09.2019

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-1019-7894>

Online-Publikation: 24.10.2019

Phys Med Rehab Kuror 2020; 30: 146–154

© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

ISSN 0940-6689

Korrespondenzadresse

Prof. Wolfgang Kemmler

Institute of Medical Physics

Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg

Henkestrasse 91

91052 Erlangen

wolfgang.kemmler@imp.uni-erlangen.de

ZUSAMMENFASSUNG

Ganzkörper-Elektromyostimulation zeichnet sich durch das Alleinstellungsmerkmal aus, große Muskelgruppen simultan aber regional dezidiert und ggf. supramaximal stimulieren zu können. Diese Konstellation kann zu gesundheitlichen Risiken führen, die unter dem Begriff der „Rhabdomyolyse“ subsumiert werden. Ziel dieses Beitrags war es, unterschiedliche WB-EMS-Protokolle hinsichtlich ihrer muskulären Belastung im Cross-

over-Verfahren zu überprüfen, um Empfehlungen für deren Applikation abzuleiten. Neunzehn sportliche Männer (28 ± 5 Jahre) ohne jede WB-EMS Erfahrung wurden randomisiert und balanciert den WB-EMS-Protokollen Ausdauertraining (a) ohne (b) mit niedrig-moderat intensivem WB-EMS Dauerstrom-Protokoll mit 7 Hz bzw. (c) 85 Hz sowie Körperübungen (d) ohne bzw. (e) mit hoher, intermittierender (4s – 4s) Impulsintensität (85 Hz) zugeordnet. Es wurde bipolarer Strom mit einer Impulsbreite von 350 μ s und direktem Impulsanstieg/-abfall appliziert. Die Dauer des Körperübungsprotokolls lag bei 20 min, das Ausdauerprogramm (75% VO_2 max, Crosstrainer) dauerte 30 min. Als Marker der muskulären Belastung wurde Kreatinkinase unmittelbar vor/nach, sowie 24, 48 und 72 h nach dem Test bestimmt. Alle Ausdauervarianten zeigten einen relativ moderaten Anstieg der CK-Konzentration um das 2,5–3 fache des Vorbelastungswertes mit Peak nach 48 h. Zwischen den Gruppen ohne und mit bzw. hoher und niedriger Stimulationsfrequenz konnten keine signifikanten Unterschiede erfasst werden. Die „kraftorientierte“ WB-EMS-Variante führte zu einer 48fachen Erhöhung des Vorbelastungswertes mit Peak nach 72 h. Faktisch kein Einfluss auf die CK-Konzentration hatten die Körperübungen ohne WB-EMS. Wie zu erwarten zeigen sich signifikante Unterschiede hinsichtlich der CK-Kinetik zwischen einem ausdauer- und kraftorientierten WB-EMS-Protokoll, die primär der unterschiedlichen Impulsintensität geschuldet sind. Diese Ergebnisse sind bei Empfehlungen zu Regenerationsdauer und Trainingshäufigkeit unterschiedlicher WB-EMS-Protokolle zu berücksichtigen.

ABSTRACT

The unique aspect of whole-body electromyostimulation is its simultaneous but regionally dedicated stimulation of all main muscle groups with, when desired, supra-maximal intensity. This however can entail severe risks for health subsumable under the term “rhabdomyolysis”. The aim was to examine the effect of different WB-EMS protocols on muscular strain as determined by creatine kinase (CK) kinetics to derive recommendations for WB-EMS application. Nineteen exercising men (28 ± 5 years) without WB-EMS experience were randomly assigned to the

WB-EMS protocols (bipolar, pulse width 350µs, rectangular) endurance training (a) without (b) with low-moderately intensive continuous WB-EMS with 7 Hz or (c) 85 Hz or slight (resistance) exercises (d) without/ (e) with high intensity, intermittent (4s–4s) pulse intensity (85 Hz). CK was determined before/after testing and 24, 48 and 72 h post exercise. All endurance protocols resulted in a low increase of the CK concentration (2.5–3 fold of the pre-test level). No significant differences were observed between the groups without and with WB-EMS application or with high and low frequency (i. e. 7 vs. 85 Hz)

WB-EMS. In contrast, the resistance type WB-EMS method generated up to a 48-fold increase of the pre-test level. Exercises without WB-EMS did not influence the CK concentration. As expected, there were significant differences in CK kinetics between endurance- and resistance-oriented WB-EMS protocols, primarily due to the different impulse intensity. These results should be taken into account in recommendations on regeneration and training frequency of different WB-EMS protocols

Einführung

In der trainingswissenschaftlichen Praxis haben sich in den letzten Jahren zwei grundsätzlich unterschiedliche WB-EMS Strategien entwickelt. Im Bereich des Leistungssports erfolgt bei hoher-maximaler, willkürlicher Muskularbeit ein niedriger-moderater EMS Stimulus, um eine technisch korrekte Ausführung der Zielübung zu fördern („superimposed electromyostimulation“ (u. a. [1, 2])). Im Rahmen der gesundheits- und fitnessorientierten Anwendung finden dagegen überwiegend WB-EMS Protokolle Anwendung, bei denen primär die Stromapplikation und nicht die willkürliche Aktivierung der Muskulatur den Trainingsreiz generieren [3]. Ziel der adjuvanten Bewegungsübungen ist hier die funktionell-koordinative Komponente in das WB-EMS Training zu integrieren. Eine Ausnahme ist dabei das ausdauerorientierte WB-EMS. Hier erfolgt das Training an geeigneten Ausdauergeräten mit relativ hohem willkürlichen Aktivierungsgrad. Die WB-EMS Applikation ist dabei lediglich als zusätzlicher Stimulus zur Belastungserhöhung zu sehen. Eine Kombination beider oben genannten WB-EMS Methodenvarianten findet überwiegend im Bereich des Gewichtsmanagements Anwendung [4]. Da dieses kombinierte Training meist mehrmals je Woche eingesetzt wird und die Problematik hoher CK- und Myoglobinkonzentration nach WB-EMS Applikation trotz intensiver Beforschung (u. a. [5]) und korrespondierender Richtlinien [6] auch aktuell wieder heftig diskutiert wird [7, 8], erscheint eine Einschätzung der muskulären Beanspruchung nach unterschiedlichen WB-EMS Protokollen sicher hilfreich, um weitere Empfehlungen aussprechen zu können. Ziel des vorliegenden Beitrags war es daher, eine Einschätzung der muskulären Beanspruchung (a) eines ausdauerorientierten kontinuierlichen WB-EMS Protokolls (superimposed WB-EMS) mit unterschiedlicher Stimulationsfrequenz (7 vs. 85 Hz) und (b) eines kraftorientierten, intermittierenden WB-EMS-Protokolls (85 Hz) vorzulegen.

Unsere primäre Hypothese war, dass ein ausdauerorientiertes WB-EMS Protokoll weitgehend unabhängig von der Stimulationsfrequenz (7 vs. 85 Hz) keinen wesentlichen Einfluss auf die CK-Konzentration, als Indikator der muskulären Beanspruchung/Schädigung nimmt.

Unsere sekundären Hypothesen waren, dass (a) ein kraftorientiertes WB-EMS Protokoll zu signifikanten Effekten auf die CK-Konzentration führt und (b), dass diese Konzentrationserhöhung signifikant ausgeprägter ist als nach einem Ausdauertraining mit adjuvanter WB-EMS Applikation.

Material und Methoden

Bei der Untersuchung handelt es sich um eine teilverblindete, randomisierte Querschnittsstudie im vollständigen Crossover Design. Studienendpunkt des Gesamtprojektes war die Bestimmung des Energieumsatzes bei unterschiedlichen kraft- [9] und ausdauerorientierten WB-EMS Varianten [10]. Die hier vorgelegten und bislang nicht veröffentlichten Daten entstammen der retrospektiven Analyse der Blutwerte dieses Projektes. Die Untersuchung wurde vom Institut für Medizinische Physik (IMP) der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) initiiert, geplant und durchgeführt und von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der FAU genehmigt. Alle Probanden unterzeichneten nach detaillierter Aufklärung vor den Eingangstests eine schriftliche Einwilligungserklärung.

Teilnehmer

Nach Anwendung der Einschlusskriterien (a) männlich, (b) Alter 20–40 Jahre, (c) sportlich (≥ 3 h/Woche letzte 2 Jahre) und Ausschlusskriterien (a) Erfahrung mit WB-EMS, (b) Einnahme von Medikamenten mit Einfluss auf Energieumsatz, (c) Kontraindikationen für WB-EMS Applikation laut Hersteller wurden insgesamt 19 eligible Teilnehmer eingeschlossen. Nach Einschluss wurden die Teilnehmer vom Studienverantwortlichen in das Testprozedere und das individuelle Verhalten vor den Tests (u. a. keine hohe körperliche Belastung oder Alkoholkonsum 48 h vor den Tests, keine Umstellung der Ernährung im Interventionszeitraum) eingewiesen. ► **Tab. 1** zeigt die Charakteristika der Teilnehmergruppe.

► **Tab. 1** Charakteristika des untersuchten Kollektivs (n = 19).

| Variable | Probandenkollektiv | Min | Max |
|--------------------------------------|--------------------|------|------|
| Lebensalter [Jahre] | 28,5 ± 4,9 | 21 | 40 |
| Körpergröße [cm] | 181,2 ± 6,3 | 168 | 196 |
| Gewicht [kg] | 77,4 ± 7,0 | 66,1 | 86,6 |
| Körperfett [%] | 12,4 ± 3,5 | 5,1 | 19,5 |
| Berufstätig/studierend [n] | 7/12 | – | – |
| Ausdauersport ≥ 3 TE/Wo. [n] | 7 | – | – |
| Kraftsport ≥ 2 TE/Wo. [n] | 6 | – | – |
| Rel. VO ₂ max [ml/min/kg] | 51,1 ± 6,4 | 44,7 | 63,1 |

Randomisierung

Die Reihenfolge, in welcher die 3 WB-EMS-Belastungsprotokolle durchgeführt werden sollte, wurde mittels Losverfahren jeweils balanciert (1–1–1 bzw. 1–1)¹ bestimmt. Die Teilnehmer selbst entnahmen – in der Reihenfolge ihres Erscheinens – in undurchsichtigen Behältnissen („Kinderei“, Ferrero, Italien) verpackte Lose, die in einer Schale lagen. Weder Teilnehmer noch Untersucher wussten vor der Ziehung die jeweilige Gruppenallokation.

Intervention

In der vorliegenden Studie wurden mehrere Methodenvarianten geprüft. Ein Ausdauerprogramm auf dem Cross-Trainer (1) ohne Stromapplikation, (2) mit (Dauer-) Stromapplikation 7 Hz und (3) mit (Dauer-) Stromapplikation 85 Hz über jeweils 30 min. Ein Krafttraining im Stehen mit leichten Eigengewichtsübungen (1) ohne Stromapplikation und (2) mit intermittierender Stromapplikation 85 Hz. Jeder Proband führte somit insgesamt 5 verschiedene Methodenvarianten durch (s.u.).

Alle Tests wurden im Zeitraum zwischen 7:00 und 12:00 Uhr durchgeführt. Zwischen den jeweiligen Bedingungen sollte konsistent eine 7-tägige Ruhephase eingehalten werden. Die Studienteilnehmer wurden gebeten, während des gesamten Interventionszeitraumes auf Drogen und hohen Alkoholkonsum zu verzichten und/oder zumindest 24 h vor den WB-EMS-Ausbelastungstests keinen Alkohol zu konsumieren. Weiterhin sollten keine intensiven Ausdauer- oder Kraftbelastungen im Zeitraum der WB-EMS-Belastungstests durchgeführt werden. Allen Teilnehmern wurde empfohlen, eine Flüssigkeitszufuhr von ≥ 3 l/d zu realisieren sowie vor den Tests eine leichte kohlenhydratreiche Mahlzeit zu sich zu nehmen.

Ausdauerprotokoll

Eingangstest zur Erfassung der individuellen Belastungsstufe

Der Test zur Erfassung der individuellen Belastungsstufe war ein Stufentest auf dem Cross-Trainer (Schwinn 4100i, USA) bis zur subjektiven Ausbelastung (► **Abb. 1**). Nach 2-minütigem Einfahren wurde bei einer vorgegebenen Trittfrequenz von 90 U/min die Belastungsstufe (beginnend mit 100 W) alle 3 min um 25 W gesteigert, bis der Proband seine subjektive Ausbelastung signalisierte oder die Trittfrequenz trotz Ermahnung nicht mehr gehalten werden konnte. Auf der Basis dieser ausbelasteten Werte wurde anhand der spirometrischen Daten, unter Berücksichtigung der Laktatschwellenwerte, die Intensität der 3 Testbedingungen jeweils individuell bestimmt. Die 3 Belastungstests erfolgten bei allen Probanden bei 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂max). Da eine Belastungssteuerung via Herzfrequenz durch die WB-EMS Applikation nicht möglich war, erfolgte die Intensitätsvorgabe entsprechend der Leistungsangabe in Watt, die auf dem Crosstrainer bei 75% VO₂max realisiert werden konnte.

Ausdauertests

Wie beschrieben absolvierte jeder Proband mit der für ihn individuell bestimmten Belastungsstufe von 75 % VO₂max den Ausdauerstest

► **Tab. 2** Charakteristika der WB-EMS – Ausdauerprogramme.

| Stimulationsparameter | „Stoffwechselprogramm“ | „Dauerstromprogramm“ |
|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Trainingsdauer | 30 min | 30 min |
| Frequenz | 7 Hz | 85 Hz |
| Impulsdauer | Endlos | Endlos |
| Impulspause | Keine | Keine |
| Impulsanstieg | 0 s | 0 s |
| Pulsbreite | 350 µs | 350 µs |
| Impulsart | Bipolar | Bipolar |

(► **Abb. 1**). Zwischen jedem der Tests lag eine Regenerationszeit von 7 Tagen, um eine ausreichend lange Regeneration zu gewährleisten. Die Tests wurden in einem klimatisierten Raum durchgeführt, so dass keine temperaturabhängigen Faktoren das Studienergebnis beeinflussen.

Die 3 Tests wurden nun in der zuvor randomisiert festgelegten Reihenfolge absolviert. Beim Kontrolltest ohne Stromapplikation waren die gesamten WB-EMS Elektrodensätze zwar angelegt, wurden aber nicht in Betrieb genommen. Die beiden unterschiedlichen WB-EMS Ausdauerprotokolle werden in ► **Tab. 2** kurz charakterisiert.

Nach 2-minütigem Einfahren auf dem Crosstrainer (100–150 Watt) erfolgte die Einstellung der Stromintensität aller Körperregionen in enger Kooperation zwischen Probanden und Untersucher. Die Impulsintensität war dabei so festgelegt, dass die Stromintensität deutlich spürbar war, aber das spezifische Bewegungsmuster auf dem Crosstrainer nicht störte. Da willkürliche und EMS-induzierte Belastung bei dieser Belastungsform nicht zu trennen sind, wurde eine subjektive Belastungsintensität von 7 („very strong“) auf der Borg CR10 Skala [13] für die Gesamtbelastung aus Crosstrainer- und WB-EMS Protokoll vorgegeben. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde im Ausdauer- und Kraftprotokoll der Generalregler bei 75 % belassen und die Impulsintensität jeweils über die Einzelelektroden adjustiert². Die Impulsintensität wurde unmittelbar zu Beginn des Ausdauerstests (30 min, 90 U/min, 75 % der VO₂max), nach 5, 15, 20 und 25 min abgefragt und ggf. angepasst, um die Gesamtbelastung auf dem angegebenen Niveau zu halten. Die Probanden zeigten dem Versuchsleiter dabei durch ein vorher vereinbartes Handzeichen an³, inwieweit bei der jeweils betroffenen Muskelregion die Stromstärke nachjustiert werden musste. Nach den Tests wurden die Probanden gebeten, ihr subjektives Belastungsempfinden anhand der Borg CR10 Skala zu befunden.

Kraftprotokoll

In diesem Spannungsfeld wurde ein intermittierendes WB-EMS Protokoll (► **Tab. 3**) mit einem Kontrollprogramm ohne Inbetriebnahme der angelegten Elektroden verglichen. Bei der Testdurch-

1 Dieser Aspekt ist essentiell, da durch den ausgeprägten „repeated bout effekt“ beim WB-EMS [5, 11, 12], bei festgelegter Reihenfolge der Tests ein systematischer Fehler („BIAS“) zu erwarten gewesen wäre.

2 Bei den verwendeten Geräten der Firma miha bodytec (Gersthofen, Deutschland) ist die Erfassung der Impulsintensität letztlich nur indirekt über eine prozentuale Skalierung der angesteuerten Elektroden möglich.
3 Da eine akustische Kommunikation über die Maske nicht möglich war.

► **Tab. 3** Charakteristika des EMS – Krafttrainingsprogramms.

| Impulsstromprogramm | |
|---------------------|---------|
| Trainingsdauer: | 20 min |
| Frequenz: | 85 Hz |
| Impulsdauer: | 4 s |
| Impulspause: | 4 s |
| Impulsanstieg: | 0 s |
| Pulsbreite: | 350 µs |
| Impulsart: | bipolar |



► **Abb. 1** Ausdauerstest auf dem Cross-Trainer.

führung/Terminplanung wurde ebenfalls darauf geachtet, dass zwischen beiden Versuchen eine ausreichende Regenerationszeit (≥ 7 Tage) zur Verfügung stand.

Das WB-EMS Kraftprotokoll (► **Abb. 2**) setzte sich aus den unten aufgeführten Übungen zusammen (► **Tab. 4**). Die Übungsauswahl orientierte sich an den im kommerziellen Betrieb durchgeführten Übungen. Ein wesentlicher Aspekt dieser Übungen ist, dass sie mit niedriger Intensität durchgeführt werden, um auch leistungsschwachen Teilnehmern den Zugang zum WB-EMS Training zu ermöglichen. Dies traf insbesondere auf die Kniebeuge zu, die integraler Bestandteil aller Übungen war (s.u.). Hier wurde eine (geringe) Bewegungsamplitude zwischen 25° – 45° (Neutral-Null-Methode) im Kniegelenk realisiert. Hilfsmittel wie elastische Bänder oder Gewichte wurden nicht verwendet. Die 5 unten aufgeführten dynamischen Übungen mit 2 Sätzen á 8 Wiederholungen für alle großen Muskelgruppen wurden lediglich während der 4 s Impulsdauer durchgeführt (► **Tab. 3**). Die Teilnehmer erhielten vor Übungsbeginn eine exakte Anweisung und Einführung in die Übungsdurchführung. Zusätzlich zu den Anweisungen erfolgte eine akustische und visuelle Unterstützung durch ein Übungsvideo (► **Abb. 2**), welches den Teilnehmern exakt die Übungsauswahl, die Übungsdurchführung, den Übungswechsel und die Belastungsdauer vorgab (► **Abb. 2**). Das Video wurde so synchronisiert, dass die Bewegungsvorgabe exakt mit den Belastungsvorgaben (4 s Impulsdauer – 4 s Impulspause, 20 min) des WB-EMS Protokolls übereinstimmte.

Die Reizintensität des WB-EMS Protokolls wurde während der ersten Minuten der Stromapplikation in enger Zusammenarbeit zwischen Untersucher und Probandem festgelegt. Vorgabe war eine Reizhöhe/Impulsintensität, die einer subjektiven Belastung von 7 („very strong“) auf der Borg CR 10 Skala [13] entsprach. Nach etwa 5, 10 und 15 min wurde diese Vorgabe vom Untersucher gezielt abgefragt und meist nachjustiert.

Nach Beendigung der beiden Methodenvarianten (mit vs. ohne WB-EMS) wurden die Teilnehmer aufgefordert, ihr subjektives Belastungsempfinden während der gesamten Trainingseinheit anhand der CR10 [13] zu dokumentieren.

Studien-Endpunkte

Primärer Studienendpunkt der vorliegenden Untersuchung zur Kreatinkinase-Konzentration war die Spitzen-Kreatinkinase (CK) Konzentration nach Beendigung der Trainingsintervention.

► **Tab. 4** Durchgeführte Übungen im Kraftprotokoll.

| Übung | Hauptsächlich beanspruchte Muskulatur |
|---|---|
| 1. Kniebeuge und Bizepscurls | Beinstrecker, Beinbeuger, Gesäß, Armbeuger |
| 2. Kniebeuge und Armstrecken | Beinstrecker, Beinbeuger, Gesäß, Armstrecker |
| 3. Kniebeuge und Crunches | Beinstrecker, Beinbeuger, Gesäß, gerade Bauchmuskulatur |
| 4. Kniebeuge, Latziehen und Schulterdrücken | Breiter Rückenmuskel, Deltamuskeln, Trapezmuskel, Beinbeuger/-strecker, Gesäß, Armbeuger, Armstrecker |
| 5. Kniebeuge, Butterfly und Reverse Fly Mit Kniebeuge | Brustmuskulatur, breiter Rückenmuskel, Beinbeuger/-strecker, Gesäß |

Messungen

Eine Aufzählung der Messungen zeigt ▶ **Tab. 5**. Die Tests wurden immer vom selben Testleiter zur jeweils gleichen Uhrzeit (± 60 min) je Teilnehmer durchgeführt.

Da die Veränderung der Kreatinkinase-Konzentration abschließlicher Gegenstand der vorliegenden Veröffentlichung ist, wird in der weiteren Methodik lediglich diese Größe adressiert.

Blutentnahme

Die Blutentnahmen erfolgten in nicht-nüchternem Zustand durch Venenpunktion in der Ellenbeuge unmittelbar vor Belastungsbeginn, 15–30 min nach der Belastung sowie 24 h, 48 h und 72 h nach Belastungsende. Die Probanden wurden angewiesen, in diesem

Zeitraum keine relevanten körperlichen Belastungen oder sportliche Aktivitäten durchzuführen.

Labor

Alle Analysen wurden im Zentrallabor der Medizinischen Klinik I der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg mit einem Analysegerät von Beckmann Coulter Inc. (AU 5800, Brea, USA) durchgeführt. Kreatinkinase wurden mittels Testkit der Firma Beckmann Coulter Inc. analysiert.

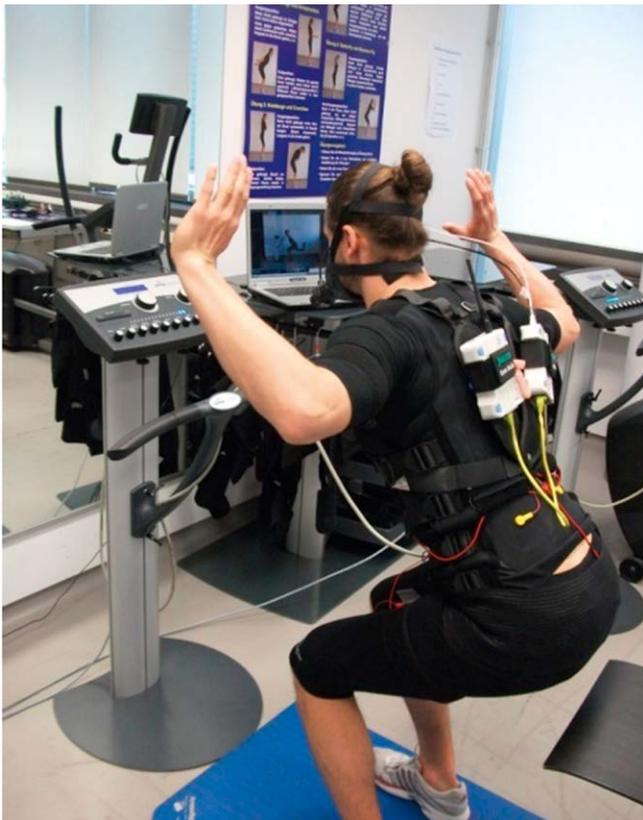
Verblindung

Während Teilnehmer und Studienleitung in Kenntnis des aktuellen Status (Kontrollkondition oder entsprechende Testsituation) waren, wussten die für die jeweiligen Messungen zuständigen Untersucher den jeweiligen Status des Teilnehmers nicht und durften diesen auch nicht erfragen.

Statistische Analyse

Die statistische Fallzahlberechnung des Projektes erfolgte auf der Basis des primären Endpunktes „Energieumsatz“ und führte, inklusive Adjustierung für Drop-out und ggf. Ausschluss, zu einer Fallzahl von 19 Personen je Gruppe. Eine post-hoc Analyse zeigt, dass mit dieser Gruppengröße mit 87 % statistischer Power ein für relevant erachteter Zwischengruppenunterschied („Effekt“) der CK-Konzentration von $10 \pm 10\%$ mit einem α von 5 % nachzuweisen ist. Da keiner der Teilnehmer die Studie quitierte oder wegen einer Protokollverletzung ausgeschlossen werden musste, gingen die Datensätze aller Teilnehmer in die Analyse ein.

Die Darstellung der Unterschiede zwischen den einzelnen Programmen erfolgte in Text und Tabellen, falls nicht anders beschrieben, anhand von Mittelwerten und Standardabweichungen, dem Signifikanzniveau (p) und der Effektstärke (SMD). Aufgrund der Datenverteilung konnten zur Analyse parametrische Verfahren herangezogen werden. Prä-/Post-Veränderungen innerhalb der Protokolle wurden mittel gepaartem T-Test analysiert. Unterschiede zwischen den 3 Ausdauerprotokollen wurde mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) bestimmt. Zusätzlich wurde zur Erfassung von Unterschieden zwischen den beiden WB-EMS Ausdauerprotokollen (7 vs. 85 Hz) ein unabhängiger T-Test gerechnet. Die Unterschiede beim Kraftprotokoll (mit und ohne WB-EMS) wurden ebenfalls mittels unabhängigem T-Test analysiert. Trotz gerichteter Hypothesen wurden grundsätzlich 2-seitige Tests durchgeführt; ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wurde als signifikant angesehen.



▶ **Abb. 2** Kraftprotokoll, Übung 5.

▶ **Tab. 5** Übersicht über die durchgeführten Messungen.

| Untersuchungsbereich | Variablen | Messinstrument |
|---------------------------------|------------------------------------|---|
| Soziodemografische Daten | Alter, Sport, Bildung, Beruf | Standardisierter Fragebogen |
| Anthropometrische Daten | Gewicht, Körperfettanteil | BIA (InBody 230, Seoul, Korea) |
| | Körpergröße | Stadiometer (Holtain, GB) |
| Kreatinkinase | Serum-CK | AU 5800 (Beckmann Coulter, USA) |
| Laktatkonzentration | Laktat | BIOSEN 5130 AutoCal, EKF-Diagnostic (Barleben, Deutschland) |
| Spirometrie | VO_2 , VCO_2 , AMV, EE, RQ^1 | Oxycon mobile, Viasys (USA) |
| Subjektives Belastungsempfinden | Rate of perceived exertion (RPE) | Borg-CR 10 Skala |

Eine Adjustierung auf multiples Testen wurde nicht vorgenommen. Die Analyse der „Standardized Mean Difference“ (SMD) als Maß der Effektstärke erfolgte über Cohens d [14]. In Anlehnung an Cohen gelten Effektstärken von $d \leq 0.2$ als „gering“, von $d \approx 0.5$ als „moderat“ und von $d \geq 0.8$ als „hoch“ [14]. Alle Analysen wurden mittels SPSS in der Version 25 vorgenommen (IBM, USA).

Ergebnisse

Wie erwähnt quittierte keiner der Teilnehmer die Studie, alle Teilnehmer gaben an, die Studie absolut protokollgemäß absolviert zu haben⁴. Die Analyse der Testcompliance ergab eine sehr hohe Übereinstimmung der berichteten subjektiven Belastung mit den Intensitätsvorgaben für die WB-EMS Applikation (► **Tab. 6**).

Darüber hinaus wurde für die Ausdauerkontrollbedingung (ohne WB-EMS) keine wesentlich oder gar signifikant unterschiedliche Gesamtbelastungshöhe ($p > 0,448$), verglichen mit den WB-EMS Applikationen, angegeben. Im Gegensatz dazu empfanden die Teilnehmer das Kraftprotokoll ohne WB-EMS Applikation im Mittel als „sehr geringe“ Belastung, während die zusätzliche WB-EMS Anwendung mit subjektiven Belastungswerten im Bereich der Vorgabe von 7 („sehr hart“) belegt wurde.

Ein Vergleich der Peak-Stimulationsintensität zwischen Ausdauer- und Kraft-Bedingung über die Skalierung des Gerätes zeigte im Mittel eine absolute Differenz ($p < 0,001$) von 28 ± 16 Prozentpunkten

der Intensitätsskala, mit signifikant höheren Werten seitens des krafttrainingsorientierten Protokolls.

Studien-Endpunkte

Gegenüberstellung unterschiedlicher Ausdauertrainingsprotokolle mit und ohne WB-EMS

► **Tab. 7** zeigt die Veränderung der Kreatinkinase-Konzentration nach den unterschiedlichen Ausdauerprotokollen ohne WB-EMS und mit WB-EMS bei unterschiedlichen Frequenzen (7 vs. 85 Hz).

Alle Gruppen wiesen unmittelbar nach der Ausdauerbelastung einen signifikanten Anstieg der CK-Konzentration ($p \leq 0,014$) auf. Der Peak der CK-Konzentration zeigte sich übereinstimmend zwischen den Gruppen nach 24–48 Stunden ($p < 0,001$ bezogen auf Vorbelastungswert). Zum Zeitpunkt 72 h „post“ lag lediglich die 7 Hz WB-EMS Kondition noch signifikant über den Vorbelastungswerten ($p = 0,018$). Zwischen den Gruppen zeigten sich zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede (► **Tab. 7**). Ein paarweiser Vergleich der WB-EMS-Gruppen (7 Hz vs. 85 Hz) ergab bei bestenfalls moderater Effektstärke (SMD: $d' \leq 0,54$) ebenfalls zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede ($p \geq 0,106$) zwischen den Gruppen.

Zusammenfassend kann somit die primäre Hypothese bestätigt werden, dass ein Ausdauertraining mit adjuvanter WB-EMS Anwendung, weitgehend unabhängig von der Impulsfrequenz, zu keinen signifikanten Effekten auf die CK-Konzentration führt.

Gegenüberstellung unterschiedlicher „Krafttrainingsprotokolle“ mit und ohne WB-EMS

► **Tab. 8** zeigt die Veränderung der Kreatinkinase-Konzentration nach „Krafttraining“ bzw. Körperübungen mit und ohne WB-EMS-Anwendung.

Wie für dieses Kollektiv junger trainierter Männer zu erwarten, zeigten die durchgeführten Körperübungen ohne WB-EMS Anwendung zu keinem Messzeitpunkt einen relevanten Einfluss ($p < 0,216$) auf die CK-Konzentration. Im Gegensatz dazu führte das intensive WB-EMS Training mit adjuvanter Körperübungen bei diesen WB-EMS Novizen zu hochsignifikanten Veränderungen ($p < 0,001$; SMD CK-Peakwert: $d' = 1,94$) der CK-Konzentration mit Peak nach 72 h post-exercise. Die Unterschiede zwischen den beiden Protokollen waren zu den Zeitpunkten 24, 48 und 72 h post-exercise hochsignifikant ($p < 0,001$) (► **Tab. 8**).

► **Tab. 6** Subjektive Belastungseinschätzung der Testbedingungen.

| Testbedingung | Subjektive Einschätzung der Gesamt-Belastung (Borg CR10) | Vorgabe für WB-EMS Applikation (Borg CR10) |
|------------------------------|--|--|
| Ausdauer - Kontrollbedingung | 6,9 ± 0,6 | – |
| Ausdauer – 85 Hz | 7,1 ± 0,4 | – |
| Ausdauer – 7 Hz | 6,9 ± 0,3 | – |
| Kraft - Kontrollbedingung | 1,1 ± 0,8 | – |
| Kraft 85 Hz | 7,2 ± 0,5 | 7 (sehr hart) |

► **Tab. 7** Mittelwerte und Standardabweichung der CK-Konzentration während unterschiedlicher Messzeitpunkte eines Ausdauertrainings. 95 % KI: 95 % Konfidenzintervall.

| Zeitpunkt (CK in IE/l) | WB-EMS 7 Hz | WB-EMS 85 Hz | Kein WB-EMS | Max Differenz (95 % KI) | p |
|------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------------------|-------|
| Vor Belastung | 190 ± 80 | 180 ± 84 | 196 ± 70 | 16 (– 47 bis 79) | 0,823 |
| 30 min post | 246 ± 103 | 212 ± 90 | 236 ± 90 | 34 (– 41 bis 110) | 0,518 |
| 24 h post | 506 ± 234 | 520 ± 178 | 418 ± 161 | 102 (– 53 bis 257) | 0,225 |
| 48 h post | 427 ± 173 | 525 ± 191 | 390 ± 151 | 135 (– 4 bis 273) | 0,053 |
| 72 h post | 230 ± 71 | 214 ± 71 | 201 ± 63 | 29 (– 26 bis 83) | 0,425 |
| Peakwert | 517 ± 224 | 567 ± 196 | 455 ± 147 | 112 (– 42 bis 266) | 0,208 |

4 Hieran dürfen Zweifel geäußert werden, da bei einigen Teilnehmern schon die CK-Eingangswerte auffällig hoch lagen...

► **Tab. 8** Mittelwerte und Standardabweichung der CK-Konzentration während unterschiedlicher Messzeitpunkte eines „Krafttrainings“. 95 % KI: 95 % Konfidenzintervall.

| Zeitpunkt (CK in IE/l) | Kein WB-EMS | WB-EMS 85 Hz | Differenz (95 % KI) | p |
|------------------------|-------------|--------------|---------------------|--------|
| Vor Belastung | 198 ± 97 | 190 ± 87 | 8 (– 49 bis 64) | 0,790 |
| 30 min post | 206 ± 93 | 224 ± 88 | 17 (– 36 bis 70) | 0,516 |
| 24 h post | 217 ± 99 | 3160 ± 2083 | 2943 (1973–3913) | <0,001 |
| 48 h post | 212 ± 116 | 6032 ± 4146 | 5819 (3890–7749) | <0,001 |
| 72 h post | 204 ± 102 | 8940 ± 6396 | 8736 (5760–11712) | <0,001 |
| Peakwert | 248 ± 196 | 9055 ± 6424 | 8807 (5818–11797) | <0,001 |

► **Tab. 9** Mittelwerte und Standardabweichung der CK-Konzentration während unterschiedlicher Messzeitpunkte. Vergleich einer kraft- vs. zweier ausdauerorientierter WB-EMS Protokolle. 95 % KI: 95 % Konfidenzintervall.

| Zeitpunkt (CK in IE/l) | Ausdauer WB-EMS 7 Hz | Ausdauer WB-EMS 85 Hz | Kraft WB-EMS 85 Hz | Max Differenz (95 % KI) | p |
|------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|--------|
| Vor Belastung | 190 ± 80 | 180 ± 84 | 190 ± 87 | 10 (– 57 bis 78) | 0,915 |
| 30 min post | 246 ± 103 | 212 ± 90 | 224 ± 88 | 34 (– 41 bis 110) | 0,517 |
| 24 h post | 506 ± 234 | 520 ± 178 | 3160 ± 2083 | 2654 (1680–3628) | <0,001 |
| 48 h post | 427 ± 173 | 525 ± 191 | 6032 ± 4146 | 5605 (3682–7430) | <0,001 |
| 72 h post | 230 ± 71 | 214 ± 71 | 8940 ± 6396 | 8726 (5765–11686) | <0,001 |
| Peakwert | 517 ± 224 | 567 ± 196 | 9055 ± 6424 | 8538 (5561–11514) | <0,001 |

Somit wird die sekundäre Hypothese (a) bestätigt, dass ein kraftorientiertes WB-EMS Protokoll zu signifikanten Effekten auf die CK-Konzentration führt.

Gegenüberstellung kraft- und ausdauerorientierter Trainingsprotokolle mit WB-EMS Einsatz

► **Tab. 9** zeigt die Gegenüberstellung der CK-Konzentration nach einem kraftorientierten intermittierenden WB-EMS Protokoll und den beiden Ausdauer-EMS Methodenvarianten mit Dauerstrom von 7 und 85 Hz.

Wie bereits aus den ► **Tab. 7** und ► **8** ersichtlich unterscheiden sich das kraftorientierte WB-EMS-Protokoll hinsichtlich des CK-Anstieges sehr deutlich von den ausdauerorientierten WB-EMS Anwendungen. Ein direkter statistischer Vergleich zeigt bei ähnlichen CK-Konzentrationen vor und unmittelbar nach der Intervention, weitgehend unabhängig von der Impulsfrequenz, jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) zu den Zeitpunkten 24, 48, 72 h post. Die CK-Peak-Konzentration lag bei der kraftorientierten WB-EMS Variante um das ca. 16–18 fache höher (SMD $d' = 1,87$) als nach der ausdauerorientierten Methodenvariante.

Somit kann die sekundäre Hypothese (b) bestätigt werden, dass die CK-Konzentration nach einem kraftorientierten WB-EMS Protokoll signifikant ausgeprägter ist als nach einem Ausdauertraining mit adjuvanter WB-EMS Applikation.

Diskussion

Wie zu erwarten zeigen sich hochsignifikante Unterschiede zwischen den ausdauerorientierten Dauerstromprotokollen, die mit geringer adjuvanter Impulsintensität durchgeführt werden, und den klassischen kraftorientierten intermittierenden Impulsprotokollen mit vergleichsweise hoher Impulsintensität. Hohe Kreatinkinase-Konzentrationen nach WB-EMS werden insbesondere nach Erstapplikation mit exzessiver Impulsintensität berichtet [15]. Auch die vorliegende Untersuchung zeigte in diesem Kollektiv ohne jede vorherige WB-EMS Konditionierung nach hochintensivem, aber nicht ausbelastetem WB-EMS Protokoll CK-Konzentrationen (9055 ± 6424 IE/l)⁵ im Bereich einer moderaten Rhabdomyolyse⁶, [19]. Die intraindividuelle Streuung der CK Werte liegt dabei sehr hoch (854 – 16621 IE/l), ein Umstand, der u. a. genetisch bedingt ist [20], und zu einer Einteilung in unterschiedliche „Respondertypen“ (low vs. moderate vs. high) führte [20, 21]. Zusammenfassend besteht also zweifellos ein Gefahrenpotenzial des WB-EMS bei unverhältnismäßig hoher WB-EMS (Erst-) Applikation, insbesondere bei Menschen, die auf intensive muskuläre Beanspruchung mit hohen CK Werten reagieren. Diesen Sachverhalt adressiert die Richtlinie „zur sicheren und effektiven Anwendung von Ganzkörper-Elektromy-

5 Zum Vergleich: die CK-Konzentration nach einem Marathonlauf (42,2 km) liegt bei ca. 2500 IE/l mit Peak bei 24–48 h post [12, 16]. Für ausbelastendes exzentrisches Krafttraining werden CK-Werte von 4000 IE [17] bis 6.000 IE/l [18] 3–4 Tage post-exercise berichtet.

6 11–49fache Erhöhung der Ruhkonzentration

stimulation“ [6]. Neben Hinweisen zur Intensität der Stimulation wird in diesem Zusammenhang auch eine Regenerationsdauer von ≥ 4 Tagen empfohlen, um die Akkumulation muskulärer Zerfallsprodukte zu vermeiden [6].

Das entsprechende Gefährdungspotenzial eines ausdauerorientierten WB-EMS Protokolls mit vergleichsweise geringer adjuvanter Impulsintensität ist gemäß den vorliegenden Studienergebnissen im Gegensatz dazu sehr gering und unterscheidet sich kaum von der einer konventionellen Ausdauervariante. Dabei ist es unerheblich, ob die Stimulationsfrequenz bei 7 oder 85 Hz liegt.

Zu völlig anderen Ergebnissen kommen Wahl et al. [22] nach Applikation eines wesentlich intensiveren WB-EMS Programmes⁷ während eines 60-minütigen Radergometer-Trainings mit einem vergleichbaren Kollektiv. Die Autoren berichten von signifikanten Zwischengruppenunterschieden für CK und Myoglobin zwischen kombiniertem Protokoll und isolierter Radbelastung mit einer mittleren CK-Konzentration der WB-EMS Variante von über 2000 IE bereits nach 24 h [22]. Eingedenk des Umstandes, dass die Peak CK-Konzentration nach WB-EMS deutlich später auftritt [5, 11, 12], ist dabei von einem weiteren Ansteigen der CK-Werte in den Bereich einer moderaten Rhabdomyolyse [19] auszugehen. Insofern liegen die von Wahl et al. [1] berichteten Daten bei 3-fachem Expositionszeitraum aber lediglich ca. 50–60 % der applizierten Elektrodenfläche im Bereich der kraftorientierten Intervention der vorliegenden Untersuchung. Der wesentliche Grund für die unterschiedliche Auslenkung der CK-Level zwischen dem Ansatz von Wahl et al. [1] und unserem ausdauerorientierten Protokoll sehen wir neben der längeren Applikationszeit (30 vs. 60 min) primär in der wesentlich höheren Intensitätsvorgabe des WB-EMS Protokolls. Ob und inwieweit eine niedrigere Stimulationsfrequenz mit entsprechend niedriger Kraftentwicklung [23] und korrespondierend geringerer Ermüdung [24] und metabolischer Anforderung [25] in diesem Setting [22] zu niedrigeren Auslenkungen der CK- und Myoglobin-Konzentration geführt hätte, ist nicht zu beantworten. Aus evidenzbasierter Sicht findet man keine Untersuchung im gesamten Spannungsfeld des EMS⁸, welche dieser Frage nachgeht. Allein Black und McCully [26] berichten von einer signifikant ausgeprägteren „muskulären Schädigung“ des Oberschenkels⁹ nach exzentrischer Beanspruchung mit 100 Hz verglichen mit derselben Beanspruchung mit 25 Hz. Gleichwohl besteht insbesondere für das WB-EMS mit der genannten Problematik eines erhöhten Rhabdomyolyserisikos (s. o.) Forschungsbedarf. Zusammenfassend kann bei etwas unsicherer Datenlage zumindest die Aussage getroffen werden, dass ein mit moderater Impulsintensität durchgeführtes Ausdauertraining¹⁰ über 30 min unabhängig von der Stimulationsfrequenz zu nur geringen Erhöhungen der CK-Konzentration führt, das sich kaum von demjenigen eines isolierten Ausdauerprogrammes unterscheidet.

7 Bipolar, Dauerimpuls, 60Hz, 400 μ s, rechteckig, „maximum tolerable intensity“ mit Stimulation der Elektroden an Wade, Oberschenkel und Gesäß

8 Lokales EMS, FES, NMES, WB-EMS

9 Erfasst über Magnet Resonanz Tomographie, Schmerztagebücher und funktionelle Tests....

10 Basierend auf unseren Daten empfehlen wir eine maximale Impulsintensität, die im Bereich von 50–60 % der maximalen Impulsintensität des EMS-Krafttrainingsprogramms liegt.

Dieses Ergebnis impliziert unter anderem, dass die in der oben genannten Richtlinie des WB-EMS Fachkreises [6] empfohlenen, vergleichsweise langen Regenerationspausen von ≥ 4 Tagen zwischen den WB-EMS Einheiten¹¹ nicht direkt auf niedrig-moderat intensive, ausdauerorientierte WB-EMS Protokolle übertragen werden können. Ähnliches, wenn auch in deutlich abgeschwächter Form, gilt für kombinierte Programme mit kraft- und ausdauerorientierter WB-EMS Anwendung. Ohne nun die bewährte Richtlinie „zur sicheren und effektiven Anwendung von Ganzkörper-Elektromyostimulation“ [6] aufweichen zu wollen, ist aus empirischer Sicht ein Trainingskonzept mit einer „kraftorientierten“ sowie einer „ausdauerorientierten“ WB-EMS Trainingseinheit/Woche sicherlich zu verantworten. Allerdings ist dabei ein mit der vorliegenden Untersuchung vergleichbares Protokoll mit niedrig-moderat intensiver EMS Applikation zu wählen. Eingedenk der wesentlich geringeren Stimulationsintensität beim ausdauerorientierten verglichen mit dem kraftorientierten WB-EMS Protokoll (13 \pm 6 Prozentpunkte), halten wir, bezogen auf das WB-EMS Protokoll, eine subjektive Vorgabe von 4–5 („etwas hart“ - „hart“) auf der Borg CR10 Skala für angemessen; allerdings sollte diese Empfehlung noch im Feld überprüft werden (s.u.).

Naturgemäß weist die vorliegende Untersuchung Limitationen auf, die zentral auf den Umstand zurückzuführen sind, dass das Gesamtprojekt primär einen anderen Endpunkt (Energieumsatz) adressierte. Insofern sind die Belastungsprotokolle nicht optimal auf den hier fokussierten Endpunkt abgestimmt. Ähnliches gilt für die Messungen. Eine Blutentnahme nach 96 h hätte wichtige Daten über die CK Kinetik (Rückgang/Erhalt/Anstieg) liefern und somit zu Rückschlüssen auf die Regenerationsdauer beitragen können. Aus anderen Studien [5, 11] ist zwar bekannt, dass die CK-Konzentration auch nach 96 h im Peak-Bereich verbleibt, allerdings lag die Stimulationsintensität („Ausbelastung“) und die CK-Konzentration (ca. 4fach) dieser Untersuchungen wesentlich höher. Auch die Bestimmung weiterer Laborgrößen, die in Zusammenhang mit hoher muskulärer Beanspruchung/Rhabdomyolyse gesehen werden (bspw. Elektrolyte, Myoglobin, glomeruläre Filtrationsrate), wäre hilfreich gewesen, um die Gesamtbelastung besser einschätzen zu können. Eine weitere Einschränkung ist die Konzentration auf ein grundsätzlich sehr sportliches, junges männliches Kollektiv von WB-EMS Anfängern. Dies spiegelt einerseits nicht die Charakteristik des „klassischen“ WB-EMS Anwenders wider, zum anderen könnte der ausgeprägte „repeated bout effect“ [17, 27] nach WB-EMS Konditionierung [5, 11, 12] unser Ergebnis und somit unsere Schlussfolgerungen maßgeblich beeinflussen. Ein weiterer Nachteil dieses sehr sportaffinen Kollektivs war zudem, dass trotz gegenteiliger Aussagen der Teilnehmer z.T. auffällig hohe Vorbelastungswerte (► **Tab. 7, 8**) darauf hindeuteten, dass die Ruhephasen vor/bzw. zwischen den Testbedingungen nicht konsequent eingehalten wurden.

Möchte man die Fragestellung zur optimierten und sicheren Trainingsfrequenz von kombinierten WB-EMS oder WB-EMS Ausdauerprotokollen mit hoher Evidenz beantworten, so sind fokussierte(re) Untersuchungen nötig. Für den Moment kann die vorliegende Studie aber zumindest ausreichende Evidenzen zu Belastungsgrad und -kinetik liefern und somit zu Hinweisen auf Regenerationsdauer und Trainingshäufigkeit unterschiedlicher WB-EMS-Protokolle beitragen.

11respektive die daraus resultierende Trainingshäufigkeit von 1–1.5 TE/Woche

Interessenkonflikt

Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Wahl P, Hein M, Achtzehn S et al. Acute metabolic, hormonal and psychological responses to cycling with superimposed electromyostimulation. *Eur J Appl Physiol* 2014; 114: 2331–2339
- [2] Wirtz N, Zinner C, Doermann U et al. Effects of Loaded Squat Exercise with and without Application of Superimposed EMS on Physical Performance. *Journal of sports science & medicine* 2016; 15: 26–33
- [3] Kemmler W, Weissenfels A, Willert S et al. Efficacy and safety of low frequency Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) to improve health-related outcomes in non-athletic adults. A systematic review. *Frontiers of Physiology* 2018; 9: 573. doi:10.3389/fphys.2018.0057
- [4] Willert S, Weissenfels A, Kohl M et al. Effects of Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) on the energy-restriction-induced reduction of muscle mass during intended weight loss. *Frontiers of Physiology* 2019; accepted for publication
- [5] Teschler M, Weissenfels A, Bebenek M et al. Very high creatine kinase CK levels after WB-EMS. Are there implications for health. *Int J Clin Exp Med* 2016; 9: 22841–22850
- [6] Kemmler W, Froehlich M, von Stengel S et al. Whole-Body Electromyostimulation – The Need for Common Sense! Rationale and Guideline for a Safe and Effective Training. *Dtsch Z Sportmed* 2016; 67: 218–221
- [7] Stollberger C, Finsterer J. Side effects of whole-body electro-myostimulation. *Wien Med Wochenschr* 2019; 169: 173–180
- [8] Stöllberger C, Finsterer J. Acute myopathy as a side effect of electromyostimulation. Letter to the editor. *WMW* 2019; 169: 173–180
- [9] Kemmler W, Von Stengel S, Schwarz J et al. Effect of whole-body electromyostimulation on energy expenditure during exercise. *J Strength Cond Res* 2012; 26: 240–245
- [10] Schwarz J. Einfluss adjuvanter EMS-Stimulation bei Ausdauer- und Kraftbelastungen auf den Energieverbrauch junger Männer. [Master Thesis] Institute of Medical Physics, University of Erlangen Nürnberg, Erlangen; Germany: 2006
- [11] Hettchen M, Glockler K, von Stengel S et al. Effects of Compression Tights on Recovery Parameters after Exercise Induced Muscle Damage: A Randomized Controlled Crossover Study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: eCAM* 2019, doi:10.1155/2019/5698460
- [12] Kemmler W, Teschler M, Bebenek M et al. (Very) high Creatinkinase concentration after exertional whole-body electromyostimulation application: health risks and longitudinal adaptations. *Wien Med Wochenschr* 2015; 165: 427–435
- [13] 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
- [14] Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum Associate, Hillsdale, NJ: 1988
- [15] Kemmler W, von Stengel S. Response to the letter of Stoellberger et al. “Acute myopathy as a side effect of electromyostimulation”. *Wien Med Wochenschr* 2018; 169: 183–184
- [16] Kratz A, Lewandrowski KB, Siegel AJ et al. Effect of marathon running on hematologic and biochemical laboratory parameters, including cardiac markers. *American journal of clinical pathology* 2002; 118: 856–863
- [17] Nosaka K, Clarkson PM. Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27: 1263–1269
- [18] Nosaka K, Newton M. Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 63–69
- [19] Visweswaran P, Guntupalli J. Rhabdomyolysis. *Critical care clinics* 1999; 15: 415–428
- [20] Heled Y, Bloom MS, Wu TJ et al. CK-MM and ACE genotypes and physiological prediction of the creatine kinase response to exercise. *J Appl Physiol* (1985) 2007; 103: 504–510
- [21] Chen TC. Variability in muscle damage after eccentric exercise and the repeated bout effect. *Res Q Exerc Sport* 2006; 77: 362–371
- [22] Wahl P, Hein M, Achtzehn S et al. Acute effects of superimposed electromyostimulation during cycling on myokines and markers of muscle damage. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2015; 15: 53–59
- [23] Binder-Macleod SA, McDermond LR. Changes in the force-frequency relationship of the human quadriceps femoris muscle following electrically and voluntarily induced fatigue. *Phys Ther* 1992; 72: 95–104
- [24] Kesar T, Binder-Macleod S. Effect of frequency and pulse duration on human muscle fatigue during repetitive electrical stimulation. *Experimental physiology* 2006; 91: 967–976
- [25] Gondin J, Giannesini B, Vilmen C et al. Effects of stimulation frequency and pulse duration on fatigue and metabolic cost during a single bout of neuromuscular electrical stimulation. *Muscle Nerve* 2010; 41: 667–678
- [26] Black CD, McCully KK. Force per active area and muscle injury during electrically stimulated contractions. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40: 1596–1604
- [27] Nosaka K, Sakamoto K, Newton M et al. How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 1490–1495