



Hohe Kreatinkinase-Werte nach exzessiver Ganzkörper-Elektromyostimulation: gesundheitliche Relevanz und Entwicklung im Trainingsverlauf

Wolfgang Kemmler · Marc Teschler · Michael Bebenek · Simon von Stengel

Eingegangen: 22. August 2015 / Angenommen: 1. Oktober 2015 / Online publiziert: 26. Oktober 2015
© Springer-Verlag Wien 2015

Zusammenfassung Durch seine Zeiteffizienz, Individualisierbarkeit und Effektivität erfreut sich Ganzkörper-Elektromyostimulation (WB-EMS) zunehmender Beliebtheit. In jüngster Vergangenheit wurden nach Erstanwendung von WB-EMS hohe Kreatinkinase (CK)-Werte berichtet, die in einem gesundheitlich bedenklichen Bereich liegen. Ziel der Untersuchung war daher 1) die entsprechende Verifizierung hoher CK-Werte, 2) die Einschätzung der gesundheitlichen Relevanz dieser Werte und 3) deren trainingsbedingte Veränderung im Verlauf.

26 gesunde, sportliche Personen ohne WB-EMS Erfahrung nahmen an der Untersuchung teil. Eine ausbelastete Erstapplikation (bipolar, 85 Hz; 350 ms; intermittierend, 20 min) führte zu einem CK-Anstieg um das 117fache (28.545 ± 33.611 IE/l) mit Peak am 3.-4. Nachbelastungstag. Trotz dieser ausgeprägten Rhabdomyolyse, wurden keine gesundheitliche Komplikationen (Hyperkaliämie, Hypokalzämie, akutes Nierenversagen) erfasst. Ein 10wöchiges WB-EMS-Training mit einer Applikation/Woche führte zu einer signifikanten Reduktion des CK-Anstieges nach ausbelastetem WB-EMS auf Werte im Bereich konventioneller Kraftbelastungen (906 ± 500 IE/l).

Ausbelastende WB-EMS-Applikation muss zumindest zu Beginn des Trainingsprozesses vermieden werden, um gesundheitliche Risiken initial (zu) hoher Intensität auszuschließen.

Schlüsselwörter Elektrostimulation · CK · Myoglobin · Rhabdomyolyse · Akutes Nierenversagen

(Very) high Creatin kinase concentration after exertional whole-body electromyostimulation application: health risks and longitudinal adaptations.

Summary Due to its individualization, time-efficiency and effectiveness Whole-body-Electromyostimulation (WB-EMS) becomes increasingly popular. However, recently (very) high Creatin-kinase concentration were reported, at least after initial WB-EMS-application. Thus, the aim of the study was to determine (1) WB-EMS induced increases of CK-concentration, (2) their impact on corresponding health parameters and (3) training-induced changes of CK-levels.

Twenty-six healthy, sportive volunteers without previous experience with WB-EMS were included. Initial high intense WB-EMS application (bipolar, 85 Hz; 350 ms; intermittent, 20 min) led to an increase of the CK-level by the 117fold (28.545 ± 33.611 IU/l) of baseline. CK-peaks were detected after 72–96 h. Despite this pronounced “exertional rhabdomyolysis”, we did not determine rhabdomyolysis-induced complications (e.g. acute renal failure, hyperkalemia, hypocalcaemia). After 10 weeks of WB-EMS (1 session/week) CK-reaction to intensive WB-EMS-Applikation was significantly blunted (906 ± 500 IE/l) and averaged in the area of conventional resistance exercise.

In summary, intensity of WB-EMS should be carefully increased during the initial sessions.

Keywords Electromyostimulation · CK · Myoglobin · Rhabdomyolysis · Acute renal failure

Prof. Dr. W. Kemmler (✉) · M. Teschler · M. Bebenek · S. von Stengel
Institut für Medizinische Physik,
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU),
Henkestrasse 91,
91054 Erlangen, Deutschland
E-Mail: wolfgang.kemmler@imp.uni-erlangen.de

Einleitung

Die vergleichsweise junge alternative Trainingstechnologie Ganzkörper-Elektromyostimulation (WB-EMS) erfreut sich besonders in ihren Herkunftsgebieten Deutschland und Österreich zunehmend wachsender Beliebtheit. In der Tat zeichnet sich diese „alternative Trainingstechnologie“ durch Zeiteffizienz, Individualisierbarkeit und Effektivität zumindest auf die Endpunkte „Körperzusammensetzung“ und „Muskelkraft“ aus [1–5]. In der Vergangenheit wurden insbesondere nach Erstanwendung von WB-EMS eher anekdotisch extrem hohe Kreatinkinase (CK)-Werte berichtet. Dies erscheint grundsätzlich plausibel, da WB-EMS alle großen Muskelareale ($\approx 2500\text{--}3500\text{ cm}^2$) simultan, aber dediziert mit supramaximaler Intensität innervieren kann. Da CK als klassischer Parameter der Muskelfaserschädigung gilt [6], wäre eine sehr hohe Auslenkung dieses Parameters nach (hoch-)intensiver WB-EMS-Applikation, wie sie insbesondere von hochmotivierten und/oder athletischen Kollektiven eingefordert wird, also sehr gut möglich. Tatsächlich berichten einige Autoren extrem hohe Serum CK-Konzentrationen nach WB-EMS-Applikation, die im Maximum mit 240.000 IE/l angegeben werden [7]. Dass dergleichen hohe CK-Werte, respektive die zugrunde liegende Problematik der „exertional rhabdomyolysis“ [8] mit gesundheitlichen Komplikationen in Verbindung stehen können, ist außer Frage [9]. Treten diese Komplikationen regelmäßig auf, sind Organschädigungen insbesondere der Niere auch beim Gesunden nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich. Eine Frage in diesem Zusammenhang ist folglich, ob bzw. inwieweit WB-EMS-induziert hohe CK-Werte trainingsbedingt absinken oder langfristig auf einem gesundheitlich riskantem Niveau verbleiben.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung(en) war somit a) die Einschätzung der initialen EMS-induzierten CK-Auslenkung im Vergleich zu anderen Sportarten mit hohem Potential an Muskelschädigungen, b) das parallele Monitoring von Parametern der Muskelschädigung und Nierenfunktion/-belastung zur Einschätzung eines pathogenetischen Effekts und c) die trainingsbedingte Entwicklung der CK-Konzentration im Verlauf.

Unsere korrespondierenden Hypothesen waren: a) Die CK-Konzentration nach initialer WB-EMS Applikation unter „Ausbelastung“ ist verglichen mit einer leichtathletischen Marathonbelastung signifikant höher und deutet b) eine gesundheitliche Gefährdung an. c) Die initial hohe CK-Auslenkung nach ausbelasteter Erstanwendung reduziert sich im Trainingsverlauf signifikant auf ein unbedenkliches Niveau vergleichbar dem anderer kraftorientierter Sportarten.

Material und Methoden

Alle beschriebenen Untersuchungen wurden im Zeitraum von Februar 2014 bis Dezember 2014 am Institut für Medizinische Physik der Friedrich-Alexander Univer-

sität Erlangen-Nürnberg (FAU) durchgeführt. Beteiligte Institute waren die Medizinische Klinik 1 (Endokrinologie) und 4 (Nephrologie) der FAU. Die Untersuchung wurde gemäß der Helsinki Deklaration von 1964 durchgeführt und von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der FAU geprüft und genehmigt (Ethikantrag 183_14B). Nach ausführlicher Aufklärung über die Risiken der Untersuchung gaben alle Teilnehmer ihre schriftliche Einverständniserklärung zur Studienteilnahme.

Studiendesign

Die Untersuchung wurde in drei Abschnitte gegliedert. Während des Abschnitts 1 (April bzw. Juni 2014) wurde der Einfluss einer WB-EMS-Erstapplikation im Vergleich zu einem leichtathletischen Marathonlauf auf die CK-Kinetik über 5 Tage untersucht (s. u.). In direktem Anschluss absolvierten diese WB-EMS Probanden ein 10wöchiges WB-EMS-Training (April – bis Juni 2014) mit abschließender EMS-Applikation und CK-Serumanalyse wiederum über 5 Tage. In Projektabschnitt 3 (September 2014) wurde analog zu Projektabschnitt 1 eine WB-EMS-Erstanwendung (s. u.) untersucht, bei der neben der CK weitere relevante Laborparameter erfasst wurden (Abb. 1).

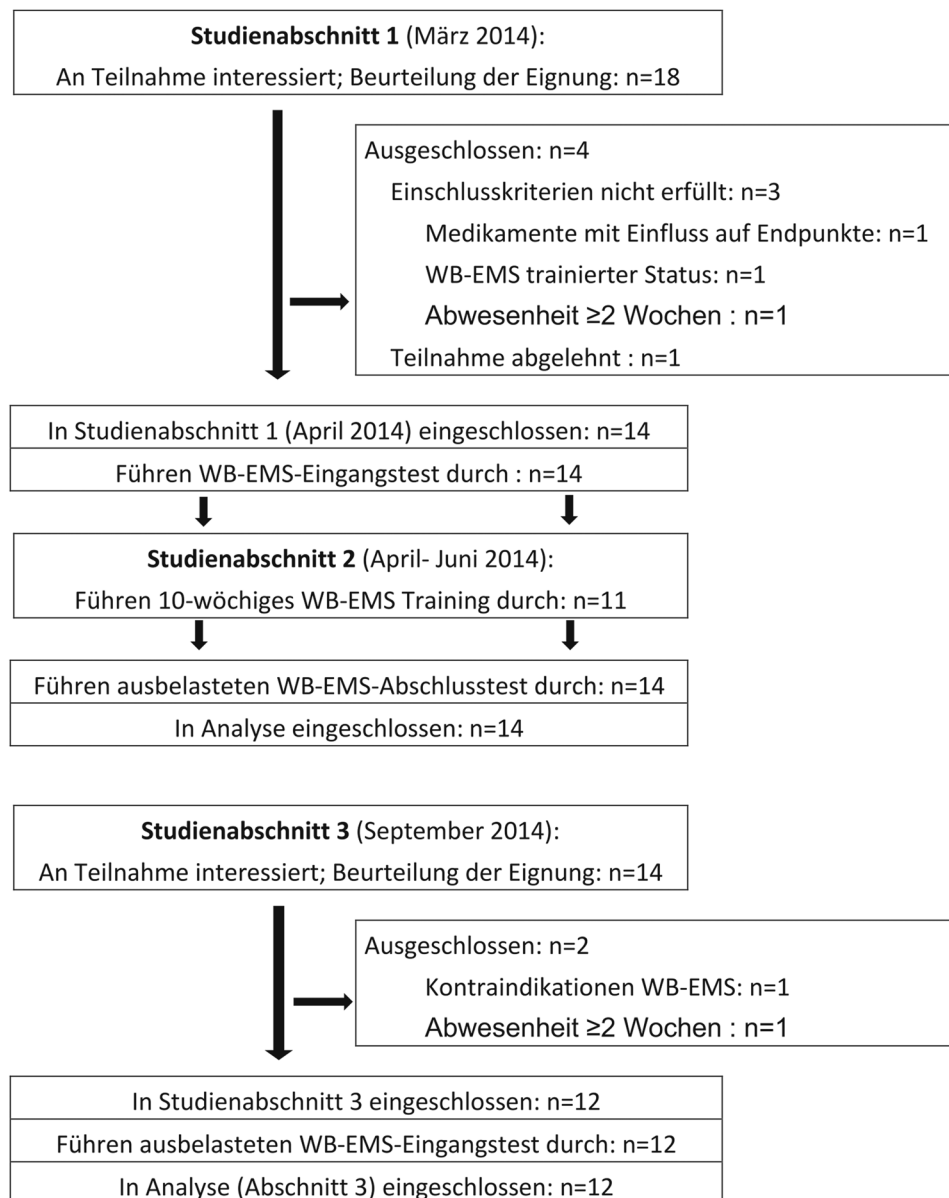
Stichprobe

Die Teilnehmer der WB-EMS-Applikation wurden über persönliche Ansprache und detaillierter Information im Kollegen-/Freundes-/Bekanntenkreis rekrutiert und vom Studienleiter (MT) nochmals ausführlich eingewiesen. Nach Anwendung der für alle Studienprojekte einheitlichen Einschlusskriterien a) gesund, 25–50 Jahre alt, b) regelmäßiges Muskeltraining (≥ 1 Einheit (TE)/Woche/12 Monate), bzw. Ausschlusskriterien (a) vorangegangenes WB-EMS-Training, b) Erkrankungen und Medikamente mit Einfluss auf Muskel- oder Nierenmetabolismus, c) Kontraindikationen gegen WB-EMS-Training (bspw. Schwangerschaft, Epilepsie)), wurden insgesamt 26 eligible Teilnehmer (aus Studienabschnitt 1 und 3) in den WB-EMS „Studienarm“ aufgenommen (Abb. 1). Die Marathonläufer wurden über personalisierte Anschreiben ($n=150$) basierend auf der vom Veranstalter bereitgestellten Teilnehmerliste des Fürth-Marathons informiert. Die Ein- und Ausschlusskriterien der Marathonläufer entsprachen den Merkmalen der WB-EMS-Applikation. Abweichende Kriterien der Marathonläufergruppe waren regelmäßiges Lauftraining (> 3 TE/Woche/12 Monate) an Stelle des Muskeltraining. Von den insgesamt 9 interessierten Personen konnten letztlich 6 eligible Marathonläufer für die Untersuchung gewonnen werden.

WB-EMS-Applikation

In allen Untersuchungen wurde dieselbe WB-EMS-Applikation mit Geräten der Firma miha bodytec[®] (Gersthofen,

Abb. 1 Ablaufplan und „Flowchart“ der Studienabschnitte der Untersuchung



Deutschland) angewendet, mit der über 10 Elektroden insgesamt 8 große Muskelgruppen (Oberschenkel, Gesäß, unterer Rücken, oberer Rücken, Latissimus, Bauch, Brust, Oberarm) mit ca. 2700 cm² Fläche adressiert wurden. Wir verwendeten ein intermittierendes Stimulationsmuster (bipolar, Frequenz: 85 Hz; Impulsbreite: 350 ms; Impulsanstieg/Impulsabfall: abrupt bzw. rechteckig; Impulsdauer: 6 s, Pause 4 s) mit einer Gesamtdauer von 20 min, in denen während der Stromphase dynamische Körperübungen durchgeführt wurden. Mit Ausnahme der Körperübungen, die in der vorliegenden Studie sehr gering-intensiv vorgegeben wurden, war die durchgeführt WB-EMS-Applikation nahezu identisch mit den derzeitigen vorgegebenen kommerziellen WB-EMS-Protokollen [10]. Entscheidendes Merkmal unseres WB-EMS-Protokolls war die möglichst maximal ausbelastete Applikation, die wir über ein subjektives Belastungsempfinden (SBE) der Probanden von ≥ 7 (sehr hart)

auf der Borg CR 10-Skala [11] steuerten. Dabei regelte, ähnlich der kommerziellen Applikationsform, jeweils ein Übungsleiter die Reiz(Strom)intensität von drei Probanden unabhängig voneinander. Die Intensität wurde in Absprache mit den Probanden alle 3–5 min um 2–3 % erhöht um eine gleichbleibend hohe relative Belastungsintensität zu generieren.

Zur Evaluierung der Fragestellung einer trainingsinduzierten CK-Reduktion nach mehrfacher WB-EMS-Applikation im Trainingsverlauf, führten wir ein 10-wöchiges Training mit einer WB-EMS-Applikation/Woche und dem oben beschriebenen WB-EMS-Protokoll durch. Während der überwachten Trainingseinheit regelten die Probanden ihre Stromstärke auf Basis der erfassten und auf Chipkarte gespeicherten Daten der Erstanwendung im Verlauf der WB-EMS-Session selbstständig hoch, um die vorgegebene subjektive Intensitätsvorgabe von „sehr hart“ (RPE „7“ auf Borg CR 10 Skala) aufrecht zu erhalten.

Studienbegleitende Maßnahmen

Die Untersuchung wurde unter strikter ärztlicher Aufsicht und Kontrolle durchgeführt. Die Studienteilnehmer wurden angewiesen, während des gesamten Interventionszeitraumes auf Rausch- und Suchtmittel möglichst zu verzichten oder zumindest vor den WB-EMS-Ausbelastungstests den Alkohol- und Koffeinkonsum zu reduzieren. Weiterhin sollten keine exzessiven Ausdauer- (bspw. > Halbmarathonlauf) oder Kraftbelastungen (bspw. ausbelastetes „Functional Training“), insbesondere im Zeitraum des initialen und FU-WB-EMS-Belastungstests, durchgeführt werden. Allen Teilnehmern wurde dringend empfohlen, die Flüssigkeitszufuhr ggf. zu erhöhen, um eine Flüssigkeitszufuhr von ≥ 3 l/d (Frauen) bzw. $\geq 3,5$ l/d (Männer) zu realisieren, sowie die Übungseinheiten keinesfalls nüchtern zu absolvieren.

Messungen

Körpergewicht und Körpergröße sowie Umfangswerte unterschiedlicher Körperregionen wurden über entsprechende Messungen an geeichten Geräten ermittelt. Der Körperfettgehalt wurde mittels Bio-Impedanz-Analyse (Inbody 230, Seoul, Korea) erfasst.

Blutentnahme

Entnahmen erfolgten in nicht-nüchternem Zustand durch Venenpunktion der Ellbeuge 15–30 min (WB-EMS) bzw. 12–14 h (Marathon) vor Belastungsbeginn, unmittelbar nach der Belastung (15–60 min post) sowie 24, 48, 72 und 96 h nach Belastungsende. Die Probanden wurden angewiesen, in diesem Zeitraum keine relevante körperliche Belastung oder sportliche Aktivität durchzuführen.

Labor

Alle Analysen wurde 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. Zusätzlich zu CK wurde in Projektabschnitt 3 die Serumparame-ter Kalium, Natrium, Calcium, Harnstoff, Laktatdehydrogenase (LDH), Kreatinin, Myoglobin (alles Beckmann Coulter Inc., Brea, USA) und die geschätzte glomeruläre Filtrationsrate (eGFR, gemäß der MDRD-Formel [12]) erfasst.

Urin

Zur einfachen Erfassung von Blut, Protein, Leukozyten und dem pH-Werte im Spontanurin wurde eine Harnanalyse mittels Reagenzstreifen (Multistix 10 SG, Sie-

mens Healthcare Diagnostics, Frimley, Großbritannien) parallel zu den Zeitpunkten der Blutentnahmen (s. o.) durchgeführt. Die Analyse der Reagenzstreifen erfolgte automatisch mittel Siemens Clinitek Status Analyzer (Siemens, Erlangen, Deutschland).

Fragebogen

Die Erfassung basaler Charakteristika, körperlicher Aktivität und Muskelschmerzen nach WB-EMS-Applikation erfolgte über Fragebogen. Die Intensität der Muskelschmerzen wurde über eine Skala von 0 (keine Schmerzen) bis 7 (extrem schmerzhaft) über 5 Tage erfasst.

Statistische Analyse

Die formale Fallzahlanalyse von Projektabschnitt 1 basierte auf dem Unterschied der CK-Veränderung zwischen WB-EMS und Marathonlauf. Basierend auf den vorliegenden Daten [13, 14] zur marathoninduzierten CK-Erhö- hung (≈ 2500 – 3000 IE/l; bzw. CK-Erhö- hung um das ca. 15–20fache) erwarteten wir eine vierfach höhere CK-Auslenkung nach WB-EMS-Applikation verglichen mit einer Marathon-Laufbelastung (42,2 km). Zur Generierung statistisch bedeutsamer Unterschiede ($\alpha=5\%$; $1-\beta: 80\%$) waren bei Annahme einer Standardabweichung im Bereich der 1,5fachen Veränderung der Marathongruppe 4 Personen/Gruppe ausreichend.

Die formale Fallzahlanalyse von Projektabschnitt 2 basierte auf der Differenz zwischen initialem und FU-Belastungstest. Ausgehend von einem initialen CK-Peak von 12.000 IE/l (s. o.) erwarteten wir eine Reduktion auf ≥ 2000 IE/l, sodass 11 Probanden nötig sind, die Unterschiede statistisch (s. o.) abzusichern.

Alle erhobenen Daten gingen in die Analyse ein. Bezogen auf Projektabschnitt 2 führten wir eine „Completer“-Analyse durch, bei der die Daten aller Probanden mit FU-Daten (Projektabschnitt 2) in der Analyse berücksichtigt wurden.

Deskriptive Daten werden als Mittelwert mit Standardabweichung angegeben. Unterschiede zwischen den Gruppen werden als mittlere Abweichung mit 95 % Konfidenzintervall berichtet.

Die Normalverteilung wurde graphisch und statistisch (Shapiro Wilks Test) erfasst. Unterschiede innerhalb der Gruppen wurden mittels gepaartem T-Test oder Wilcoxon Rang-Test analysiert. Unterschiede zwischen den Gruppen wurden konsistent mit dem T-Test nach Welch analysiert. Trotz gerichteter Annahmen wurden grundsätzlich zweiseitige Tests durchgeführt. Ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wird als signifikant angesehen. Effektstärken (ES) wurden nach Cohen [15] berechnet. Effektstärken von $d \leq 0,2$ gelten dabei als „gering“, von $d \approx 0,5$ als „moderat“ und von $d \geq 0,8$ als „hoch“. SPSS 21 wurde für alle statistischen Verfahren benutzt.

Tab. 1 Basale Charakteristika der WB-EMS und der Marathongruppe

Variable	WB-EMS (n=26)	Marathon (n=6)
Alter [Jahre]	32,0±7,9	41,7±8,1
Männlich/weiblich [n]	24/2	6/0
BMI [kg/m ²]	23,6±2,3	22,9±1,0
Fettfreie Masse [kg]	66,0±9,4	–
Körperfett [%]	15,5±4,7	–
Sportumfang [min/Wo.]	427±228	257±113
Realisierte Marathonläufe [n]	–	8±4 (5 bis 14)

Ergebnisse

Insgesamt 14 Personen nahmen an Studienabschnitt 1 teil, von denen sich 11 zur Teilnahme an der WB-EMS-Trainingsmaßnahme (Studienabschnitt 2) bereit erklärten (Abb. 1). Drei Probanden sagten aufgrund berufs- oder urlaubsbedingter Ausfallzeiten ihre Teilnahme an diesem Vorhaben ab. Zwölf weitere Teilnehmer wurden in Studienabschnitt 3 einer isolierten WB-EMS-Applikation mit Analyse weiterer muskel- und nierenrelevanter Parameter unterzogen (Abb. 1).

Für die Beantwortung der Fragestellung (1) wurden jeweils die CK-Daten der initialen Messung (n=26, Abschnitt 1 und 3) herangezogen. Tabelle 1 zeigt die Charakteristika der Studienteilnehmer der WB-EMS- und Marathon-Gruppe.

Bezogen auf die WB-EMS-Trainings-Maßnahme (Studienabschnitt 2) führten alle Teilnehmer (n=11) das WB-EMS-Training protokollgemäß (Anwesenheitsrate 97±5%) durch. Das von den Teilnehmern im Mittel angegebene subjektive Belastungsempfinden lag mit 7,0±0,2 (Borg CR 10) im Rahmen unserer Vorgabe von „7“.

Muskelschmerzen im Sinne eines „delayed onset muscular soreness“ (DOMS) berichteten alle Teilnehmer. Die mittlere Intensität betrug 3,7±0,8 (3–5) mit den deutlichsten Symptomen nach Tag 2 und 3. Keiner der Teilnehmer berichtete weitere unerwünschte Nebeneffekte nach WB-EMS Applikation.

Kreatinkinaseanstieg nach WB-EMS-Erstapplikation

Tabelle 2 zeigt die Kreatinkinasewerte (CK) vor, unmittelbar nach der jeweiligen Belastung (WB-EMS vs. Marathon), 24, 48, 72 und 96 h nach Belastung sowie den CK-Wert (IE/l) des maximalen Anstiegs („Peakwert“) der CK Konzentration. Die recht hohen basalen CK-Werte der WB-EMS-Gruppe erklären sich ansatzweise durch leicht-moderates (n=5: CK: 176–391 IE/l) bzw. moderat-intensives Sporttreiben (n=1; CK: 568 IE/l) zwei bzw. drei Tage vor dem initialen WB-EMS-Belastungstest. Trotzdem lagen die Werte auch bei Berücksichtigung dieser Teilnehmer im Mittel (208±117) noch vergleichsweise hoch.

Bezogen auf den CK-Peakwert zeigte die WB-EMS Gruppe Einzelwerte zwischen 2366 und 143674 IE/l

(MV±SD: 28545±33611, n=26, Tab. 2), die Marathongruppe Werte zwischen 470 IE/l und 4883 IE/l (MV±SD: 2795±883, n=6; Tab. 2). Ca. 70% der WB-EMS Gruppe gelten als „high responder“ [16] mit Peak-CK-Werten über 10000 IE/l. Die relative Erhöhung der Peak-CK-Konzentration der WB-EMS-Gruppe lag trotz signifikant höherer basaler Werte beim 117fachen der basalen Konzentration verglichen mit einer 22fachen Erhöhung des CK nach einem Marathon (p=0,002). Der Peak der CK-Konzentration wurde in der Marathongruppe bereits nach 48 h erreicht, während der maximale Anstieg der WB-EMS Gruppe im Bereich zwischen 72 und 96 h lag (Tab. 2). Eine Subanalyse nach 168 h zeigte in der Marathongruppe (n=5) CK-Werte im Bereich der basalen Konzentration (241±147 IE/l), während für die WB-EMS-Gruppe (n=9) zu diesem Zeitpunkt noch deutlich überhöhte Werte (2638±2545 IE/l) vorlagen. Somit wird Hypothese 1 angenommen, dass nach WB-EMS-Erst-Applikation unter „Ausbelastung“ signifikant höhere CK-Anstiege verglichen mit einem leichtathletischen Marathon zu beobachten sind.

Tabelle 3 zeigt weitere Serumparameter zur Interpretation der Muskelschädigung und Nierenbelastung in der Übersicht.

Die (geschätzte) glomeruläre Filtrationsrate (eGFR) lag mit einer Ausnahme (57 ml/min nach 24 h) im Normalbereich über 60 ml/min. Die der eGFR zugrunde liegende mittlere Kreatininkonzentration erhöhte sich signifikant um 15,1±9,3%. Ein Teilnehmer wies eine leicht erhöhte Kreatininkonzentration (1,32 mg/dl) auf. Kalzium zeigte eine nicht-signifikante Erhöhung um 3,4±5,3% (Kalzium >2,7 mmol/l: n=0); für den Harnstoff wurde eine signifikante Erhöhung um 15,0±14,5% erfasst. Bei vier Personen lag der Harnstoffwert über (44–55 mg/dl) dem Normalbereich von 43 mg/dl. Die Elektrolyte Kalium und Natrium stiegen ebenfalls signifikant um 15,9±10,2% bzw. 0,4±0,5%, wobei drei Teilnehmer knapp über der Obergrenze von 5,0 mmol/l für Kalium lagen (Natrium >145 mmol/l: n=0). Die Laktatdehydrogenase (LDH) erhöhte sich um das 4,3fache (p=0,003) auf Peak-Werte (nach 72–96 h), die z. T. deutlich über dem Normalbereich von <250 IE/l lagen. Die deutlichste Reaktion zeigte die Myoglobin-Konzentration, die nach der WB-EMS Applikation um das ca. 40fache anstieg. Der Peak der Myoglobin-Konzentration wurde im Bereich zwischen 48–72 h erreicht, eine Woche nach EMS-Applikation waren die Myoglobinwerte bei allen Teilnehmern noch leicht-moderat erhöht (105–246 µg/l). Eine bivariate Korrelation (Pearson-Bravais) bestätigt den zeitlich etwas versetzten (sehr) engen Zusammenhang zwischen den Peak-Werten der Kreatinkinase und Myoglobin-Konzentration (r=0,92, p<0,001).

Die Analyse des Spontanurins zeigte bei der Mehrzahl der Probanden keine Auffälligkeiten. PH-Werte, spezifisches Gewicht, Glucose, Bilirubin und Leukozyten lagen zu allen Messzeitpunkten im Normalbereich. Spuren von Protein (<30 mg/dl) wurden bei 7 Teilnehmern erfasst, eine Erythrozytenzahl von <10 µl wiesen drei Teilnehmer auf, ein Teilnehmer zeigte Werte zwischen 10 und

Tab. 2 Entwicklung der Kreatinkinase (CK) nach initialer WB-EMS-Applikation unter Ausbelastung versus Marathonlauf über 5 Tage

Zeitpunkt (CK in IE/l)	WB-EMS (n=26)	Marathon (n=6)	Differenz (95 % KI)	p	Effekt-stärke
Vor Belastung	246 ± 174	130 ± 48	115 (34 bis 195)	.006	.91
Nach Belastung	281 ± 183	361 ± 103	81 (-39 bis 201)	.171	.54
24 h post	3551 ± 4731	2630 ± 2058	922 (-1698 bis 3541)	.471	.25
48 h post	12.991 ± 17.480	1612 ± 1509	11.379 (4226–18.532)	.003	.92
72 h post	27.410 ± 33.770	1179 ± 1586	26.232 (12.539–39.925)	.001	1,10
96 h post	26.549 ± 29.960	746 ± 1081	25.803 (13.409–38.196)	.001	1,22
Peakwert CK	28.545 ± 33.611	2795 ± 883	25.750 (12.075–39.424)	.001	1,08

Tab. 3 Basiswerte und Veränderung von Blutparametern (Serum) nach ausbelasteter WB-EMS-Erstanwendung, die mit akuten und späten Komplikationen einer Rhabdomyolyse in Verbindung gebracht werden. LDH: Laktatdehydrogenase

	Basalwert (n=12) MV ± SD (Min-Max)	Peakwert (n=12) MV ± SD (Min-Max)	p
Kalium [mmol/l]	4,27 ± 0,38 (3,5–4,9)	4,95 ± 0,18 (4,5–5,4)	<.001
Natrium [mmol/l]	140,9 ± 1,5 (139–143)	141,4 ± 1,2 (139–143)	.026
Kalzium [mmol/l]	2,35 ± 0,15 (1,9–2,5)	2,43 ± 0,06 (2,3–2,5)	.075
Harnstoff [mg/dl]	34,0 ± 7,8 (22–49)	39,1 ± 8,9 (24–55)	.003
Kreatinin [mg/dl]	0,86 ± 0,12 (0,59–1,00)	0,99 ± 0,19 (0,61–1,32)	.001
LDH [IE/l]	187,6 ± 43,2 (128–241)	814,4 ± 565,8 (272–1832)	.003
Myoglobin [µg/l]	68 ± 44 (5–157)	2706 ± 2194 (268–6967)	.002

Tab. 4 Basalwert und Veränderung der (Peak) CK-Konzentration nach ausbelasteter WB-EMS-Applikation vor und nach 10wöchigem WB-EMS-Trainingszeitraum

CK [IE/l]	Vor WB-EMS Training (n=11)	Nach WB-EMS Training (n=11)	Differenz (95 % KI)	p
Basal	278 ± 155	287 ± 172	10 (-81 bis 100)	.818
Peak	17.575 ± 14.717	906 ± 500	16.669 (6810–26.528)	.004

80, bei zwei Teilnehmern war die Erythrozytenzahl mit 80–200 Erythrozyten/µl moderat erhöht. Die erhöhten Werte wurden jeweils nach 48 h und/oder 72 h erfasst. Eine sichtbare Einfärbung des Urins („cola coloured“) wurde nicht beobachtet.

In der Übersicht deuten jedoch die hohen Serumwerte insbesondere für Myoglobin das Potential einer gesundheitliche Gefährdung nach ausbelasteter WB-EMS-Applikation an.

Tabelle 4 zeigt die in Teilprojekt 3 erfassten Veränderungen der CK-Konzentration (Peakwert) nach einem 10wöchigen Trainingszeitraum. Ausgehend von einem basalen CK Wert von 287 ± 172 IE/l stieg die CK-Konzentration um das 3,2fach an, wobei der CK-Peak wiederum nach 72 bzw. 96 h auftrat. Die individuellen Peak-Werte lagen im Bereich zwischen 335 und 1987 IE/l, wobei kein relevanter Zusammenhang zwischen individuellen CK-Peak-Werten vor (Tab. 2) versus nach dem 10wöchigen Konditionierungszeitraum ($r=0,10$) erfasst wurde.

Eine parallele Entwicklung zeigte die Myoglobin und LDL-Konzentration, für die nach dem 10-wöchigen Konditionierungszeitraum Peak-Serumkonzentrationen von 193 ± 80 µg/l (basal 102 ± 16 µg/l; $p=0,007$) und 242 ± 43 IE/l (basal 223 ± 42 IE/l, $p=0,155$) vorlagen. Keine wesentliche trainingsinduzierte Veränderung

zeigte das bereits vor dem Trainingszeitraum im Normalbereich liegende Kreatinin (basal: 1,06 ± 0,10 vs. FU: 1,16; $p=0,002$) und, parallel dazu, die eGFR.

Zusammenfassend kann Hypothese (3) angenommen werden, dass sich die CK-Werte sowie weitere Parameter hoher Muskelschädigung und korrespondierender Nierenbelastung nach ausbelasteter WB-WMS-Applikation im Trainingsverlauf signifikant auf ein meist unbedenkliches Niveau im Bereich anderer kraftorientierter Sportarten [17] reduzieren.

Diskussion

Ausbelastende WB-EMS-(Erst)Applikation kann zu einer extrem hohen Auslenkung der CK-Konzentration führen [7], die im Bereich der höchsten von der Literatur berichteten Werte (Ultramarathonlauf ≥ 160 km) [18–21] liegt. Skenderi et al. [20] berichten nach Laufbelastung (Spartathlon, 246 km) von einer Konzentrationserhöhung um das 245fache (CK-Peak: 44.000 ± 7000 IE/l); der höchste uns vorliegende Einzelwert (100 Meilen-Lauf mit großer Höhendifferenz) wird mit 264.000 IE/l [18] angegeben. Sichtet man die in der Literatur genannten Kriterien einer hohen CK-Auslenkung nach (exzentri-

scher) Kraftbelastungen (Übersicht in [17]), so treffen auf die WB-EMS-Applikation Kriterien wie a) hoher Anteil an Oberkörpermuskulatur [22], b) „hohes Volumen“ [23], c) kurze Pausen [24], d) hohe Bewegungs-/Innervationsgeschwindigkeit [25] und e) hohe Reizintensität [26] bzw. hoher mechanischer Stress (Übersicht in [17, 27]), in besonders ausgeprägter Weise zu. Zu dem außergewöhnlich hohen initialen CK-Anstieg der vorliegenden Untersuchung trug zudem a) der geringe Anteil an Frauen, denen meist eine geringere belastungsinduzierte CK-Auslenkung zugeschrieben wird [28, 29], und b) die für alle Teilnehmer ungewohnte Belastung des WB-EMS [27, 30] bei. Im Gegensatz zu exzessiven Ausdauerbelastungen ($\approx 24\text{--}48$ h, [31]) wurde der WB-EMS induzierte Peakwert der CK-Konzentration im Serum erst nach 72–96 h (vgl. [32]) erreicht; nach ungefähr derselben Dauer (72–96 h) erreicht die CK-Konzentration wieder basale Werte.

Aufgrund seiner hohen Sensivität gilt CK als primärer Serummarker einer Rhabdomyolyse [9]. Obwohl keine verbindlichen Grenzwerte festliegen, wird eine Erhöhung der oberen Schwelle des CK-Normalbereichs bis um das 10fache (d. h. 1700 IE/l) als milde Rhabdomyolyse, eine 11–49fache Erhöhung als moderate und eine über 50fache Erhöhung als ausgeprägte Rhabdomyolyse bezeichnet [33]. Faktisch zeigen ca. 70% unserer WB-EMS-Gruppe eine ausgeprägte „exertional“, also eine primär über (sehr) hohe körperliche Beanspruchung generierte, Rhabdomyolyse [34]. Die klinische Relevanz der Rhabdomyolyse lässt sich in akute Komplikationen wie Hyperkaliämie, Hypokalzämie und Leberschädigung und späte Komplikationen (12–72 h), wie insbesondere akutes Nierenversagen gliedern [9]. Bezogen auf akute Komplikationen wurden keine klinischen Auffälligkeiten erfasst, wohl aber die signifikante Erhöhung des Kaliumspiegels, der bei allen Teilnehmern jedoch unter dem Grenzwert einer Hyperkaliämie ($> 5,2$ mmol/l) verblieb.

Als Konsequenzen der Freisetzung zellulärer Bestandteile nach Muskelschädigung gilt akutes Nierenversagen als zentrale Komplikation einer Rhabdomyolyse. Neben der stark erhöhten Serumkonzentration von CK und LDH (Tab. 3) ist in diesem Zusammenhang besonders das Myoglobin (hier: 40fache Erhöhung) mit seiner komplexen nephrotoxischen Wirkung relevant [34]. Zusammenfassend konnten wir jedoch bei keinem Teilnehmer Anzeichen eines akuten Nierenversagens, definiert als 3-fache Erhöhung der basalen Serum Kreatininkonzentration oder eines Peak-Wertes über 4 mg/dl (RIFLE-Kriterium; [35]) nachweisen. Aufgrund der lediglich geschätzten (e)GFR und des nicht erhobenen Urinvolumens kann dieser Befund aber nicht als absolut abgesichert angesehen werden. Gleichwohl ist es für den Kliniker sicherlich überraschend, wie wenig ausgeprägt die Reaktion von Kalium, Kalzium und/oder Kreatinin trotz ausgeprägter Rhabdomyolyse mit korrespondierend hohen CK- und Myoglobin-Werten – zumindest in diesem gesunden, leistungsfähigen Kollektiv unter ärztlicher Überwachung ausfällt. Berücksichtigt man allerdings, dass die Rahmenbedingungen (bspw. Aus-

schlusskriterien, adjuvantes körperliches Training, Flüssigkeitszufuhr, Drogenkonsum) einer WB-EMS-Applikation in der Trainingspraxis nicht so standardisiert und stringent vorgegeben sind, wie innerhalb einer wissenschaftlichen Studie, so liegt das Risiko gesundheitlicher Gefährdung nach ausbelastender Anwendung in der Trainingspraxis mit Sicherheit deutlich höher.

Im Sinne eines „repeated bout Effektes“ sollte sich die extrem hohe CK-Konzentration nach ausbelasteter, erstmaliger WB-EMS-Applikation durch regelmäßiges WB-EMS-Training vergleichbar einem exzentrischen Krafttraining [16, 36–38], relativ rasch auf eine moderate CK-Auslenkungen reduzieren [38]. Nosaka et al. [38] erfassen in diesem Zusammenhang bereits nach einer ausbelasteten exzentrischen Übungseinheit der Armflexoren (3 Sätze \times 10 Wdh. mit 80% 1RM) keine weitere Erhöhung der CK-Konzentration bei nachfolgenden Übungseinheiten (Tag 3 und 9), sondern im Gegenteil, einen Abfall der CK-Konzentration auf Werte unter 1000 IE/l (Peak CK: ca. 4200 IE/l). Auch Brown et al. [36] weisen nach 10, 20 oder 50 maximalen exzentrischen Kontraktionen der Beinstrecker bei einer weiteren Trainingseinheit 3 Wochen später, keinen wesentlichen Anstieg der CK-Konzentration nach 50 maximalen Kontraktionen der Beinstrecker (mehr) nach. Eine weitere Untersuchungen von Nosaka et al. [39] zeigt, dass dieser „repeated bout effect“ einer einzelnen, ausbelasteten exzentrischen Krafttrainingseinheit auf die CK-Konzentration bis zu 6 Monate anhält. In der vorliegenden Studie untersuchten wir den Konditionierungseffekt eines regelmäßigen WB-EMS-Trainings (10 TE) auf die CK-Auslenkung aufgrund der sehr hohen initialen Peak-Werte (erst) nach 10 Wochen. Unser Ergebnis von lediglich moderat erhöhten CK-Werte (906 ± 500 IE/l) nach ausbelasteter WB-EMS-Applikation bestätigt die vorgelegten Ergebnisse signifikant geringerer CK-Anstiege nach Trainingsintervention, allerdings könnte dieser günstige Effekt bereits deutlich früher eingetreten sein.

Zusammenfassend führt exzessive initiale WB-EMS-Applikation unter Ausbelastung zu sehr hohen CK-Werten mit negativer gesundheitlicher Relevanz, die bei Personen mit ungünstigen Begleitumständen (bspw. Flüssigkeitsdefizit, Drogenkonsum) oder bereits vorliegenden Schädigungen, möglicherweise drastische Komplikationen auslösen können. Anderen Belastungen vergleichbar reduzieren sich die Serumkonzentrationen von CK und Myoglobin allerdings (spätestens) nach 10wöchiger Konditionierungsphase auf Werte im Bereich anderer (kraftorientierter) Trainingsformen.

Als Konsequenz für die WB-EMS Applikation sollten folglich die initialen Trainingseinheiten bzw. das „Probetraining“ auch bei entsprechender Nachfrage/Forderung des Teilnehmers **nicht** unter Ausbelastung durchgeführt werden. Umgesetzt wird dies primär über eine initial geringere Intensität (also Stromstärke) und/oder eine geringere Applikationsdauer; weniger sinnvoll ist eine Reduktion der Stimulationsfläche. Parallel dazu muss der Teilnehmer bereits im Vorlauf der Maßnahme ausführlich über Risiken, Verhaltensmaßregeln und

angemessene Vorbereitung auf die WB-EMS-Applikation hingewiesen werden.

Einige Besonderheiten und Limitation der Untersuchung erschweren die Interpretation und Generalisierbarkeit unserer Ergebnisse. Bezogen auf Letzteres liegt der Geltungsbereich unserer Ergebnisse zunächst im Bereich der niederfrequenten EMS-Applikation mit intermittierendem Belastungsprotokoll. Eine weitere Einschränkung liegt in unserer Entscheidung, nur krafttrainierende Personen einzuschließen. Ein Hintergrund dieser Vorgehensweise war die Vorgabe einer „Ausbelastung“, die von erfahrenen Sportlern mit geschultem Belastungsempfinden angemessen umsetzbar ist. Zentrales Entscheidungskriterium für die Wahl dieser Gruppe war jedoch, dass in der derzeitigen WB-EMS-Anwendungspraxis explizit diese motivierte, sport- bzw. wett-kampforientierte Anwendergruppe eine (zu) intensive WB-EMS Applikation „nachfragt“. Bislang unспортliche oder primär gesundheitsorientierte Kollektive unterliegen der Gefahr (zu) hoher WB-EMS-Belastung kaum [3], sodass die Relevanz unserer Fragestellung für diese Kollektive eher unerheblich ist. Rein hypothetisch [40] spekulieren wir jedoch, dass sportabstinente Personen bei fremdgesteuerter, hochintensiver WB-EMS-Applikation eher höhere Auslenkungen der CK-Konzentration als Marker einer Rhabdomyolyse zeigen, als Personen mit vorhergehender konventioneller, kraftorientierter Muskelkonditionierung.

Ein definitives Manko des längsschnittlichen Projektabschnittes (Teilprojekt 2) ist in dem relativ langen Zeitfenster zwischen den Bluterhebungen (10 Wochen) begründet, das keine dezidierte CK-Kinetik zulässt. Somit konnte ein möglicherweise deutlich früherer Rückgang der CK-Konzentration [38] auf relativ unbedenkliche Werte nicht evaluiert werden.

Danksagung

Ganz besonderer Dank gilt Frau Dr. Anke Dahlmann (Medizinische Klinik 4, FAU) für die zeitaufwändige ärztliche Begleitung der Untersuchung(en). Frau Professor Dr. Zopf und ihrem Team (Medizinische Klinik 1, FAU) sei für die Mithilfe bei den Blutabnahmen und die laborärztliche Unterstützung ebenfalls herzlich gedankt. Herrn Dr. Bernd Langenstein (Klinikum Nürnberg Süd) möchten wir für die fachinhaltliche Unterstützung bei der Interpretation der erhobenen Laborparameter danken.

Interessenkonflikt

Für keinen der Autoren (Kemmler, Teschler, Bebenek, von Stengel) liegt ein Interessenkonflikt vor.

Literatur

- Boeckh-Behrens W, Treu S. Vergleich der Trainingseffekte von konventionellem Krafttraining, maxxF und EMS-Training in den Bereichen Körperzusammensetzung, Körperformung, Kraftentwicklung, Psyche und Befindlichkeit. Bayreuth: Institut für Sportwissenschaften der Universität Bayreuth; 2002.
- Kemmler W, Birlauf A, von Stengel S. Einfluss von Ganzkörper-Elektromyostimulation auf das Metabolische Syndrom bei älteren Männern mit metabolischem Syndrom. *Dtsch Z Sportmed.* 2010;61:117–23.
- Kemmler W, von Stengel S. Whole-body electromyostimulation as a means to impact muscle mass and abdominal body fat in lean, sedentary, older female adults: subanalysis of the TEST-III trial. *Clin Interv Aging.* 2013;8:1353–64.
- Kemmler W, Teschler M, Bebenek M, et al. Selecting an efficient exercise method to improve strength and lean body mass – a comparison of High Intensity Resistance Exercise versus Whole-Body Electromyostimulation. A randomized controlled study. *J Sports Sci.* 2015 (submitted).
- Vatter J. Elektrische Muskelstimulation als Ganzkörpertraining – Multicenterstudie zum Einsatz von Ganzkörper-EMS im Fitness-Studio. AVM-Verlag München; 2010.
- Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull.* 2007;81–82:209–30.
- Kastner A, Braun M, Meyer T. Two cases of rhabdomyolysis after training with electromyostimulation by 2 young male professional soccer players. *Clin J Sport Med.* 2014.
- Patil R, Uusi-Rasi K, Pasanen M, et al. Sarcopenia and osteopenia among 70–80-year-old home-dwelling Finnish women: prevalence and association with functional performance. *Osteoporos Int.* 2013;24:787–96.
- Zutt R, van der Kooij AJ, Linthorst GE, et al. Rhabdomyolysis: review of the literature. *Neuromuscul Disord.* 2014;24:651–9.
- Vatter J, Authenrieth S, Müller S. *Betreuungshandbuch EMS health and beauty.* Karlsruhe: Health and Beauty; 2014.
- 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.
- Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, et al. A new equation to estimate glomerular filtration rate. *Ann Intern Med.* 2009;150:604–12.
- Kobayashi Y, Takeuchi T, Hosoi T, et al. Effect of a marathon run on serum lipoproteins, creatine kinase, and lactate dehydrogenase in recreational runners. *Res Q Exerc Sport.* 2005;76:450–5.
- Kratz A, Lewandrowski KB, Siegel AJ, et al. Effect of marathon running on hematologic and biochemical laboratory parameters, including cardiac markers. *Am J Clin Pathol.* 2002;118:856–63.
- Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* Hillsdale: Lawrence Earlbaum Associate; 1988.
- Chen TC. Variability in muscle damage after eccentric exercise and the repeated bout effect. *Res Q Exerc Sport.* 2006;77:362–71.
- Koch AJ, Pereira R, Machado M. The creatine kinase response to resistance exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2014;14:68–77.
- Hoffmann MD, Ingwerson JL, Rogers IR, et al. Increasing creatine kinase concentration at the 161 Western States Endurance Run. *Wilderness Environ Med.* 2012;23:56–60.
- Klapcinska B, Waskiewicz Z, Chrapusta SJ, et al. Metabolic responses to a 48-h ultra-marathon run in middle-aged male amateur runners. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113:2781–93.
- Skenderi KP, Kavouras SA, Anastasiou CA, et al. Exertional Rhabdomyolysis during a 246-km continuous running race. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:1054–7.
- Waskiewicz Z, Klapcinska B, Sadowska-Krepa E, et al. Acute metabolic responses to a 24-h ultra-marathon race in male amateur runners. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:1679–88.

22. Chen TC, Lin KY, Chen HL, et al. Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111:211-23.
23. Machado M, Willardson JM, Silva DR, et al. Creatine kinase activity weakly correlates to volume completed following upper body resistance exercise. *Res Q Exerc Sport*. 2012;83:276-81.
24. Machado A, Garcia-Lopez D, Gonzalez-Gallego J, et al. Whole-body vibration training increases muscle strength and mass in older women: a randomized-controlled trial. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20:200-7.
25. Chapman D, Newton M, Sacco P, et al. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int J Sports Med*. 2006;27:591-8.
26. Nosaka K, Newton M. Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *J Strength Cond Res*. 2002;16:202-8.
27. Baird MF, Graham SM, Baker JS, et al. Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J Nutr Metab*. 2012;2012:960363.
28. Clarkson PM, Hubal MJ. Are women less susceptible to exercise-induced muscle damage? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2001;4:527-31.
29. Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR, Alvarez-Alvarez L, et al. Muscle damage responses and adaptations to eccentric-overload resistance exercise in men and women. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114:1075-84.
30. Maxwell JH, Bloor CM. Effects of conditioning on exertional rhabdomyolysis and serum creatine kinase after severe exercise. *Enzyme*. 1981;26:177-81.
31. Bird SR, Linden M, Hawley JA. Acute changes to biomarkers as a consequence of prolonged strenuous running. *Ann Clin Biochem*. 2014;51:137-50.
32. Jubeau M, Sartorio A, Marinone PG, et al. Comparison between voluntary and stimulated contractions of the quadriceps femoris for growth hormone response and muscle damage. *J Appl Physiol* (1985). 2008;104:75-81.
33. Visweswaran P, Guntupalli J. Rhabdomyolysis. *Crit Care Clin*. 1999;15:415-28.
34. Patel DR, Gyamfi R, Torres A. Exertional rhabdomyolysis and acute kidney injury. *Phys Sportsmed*. 2009;37:71-9.
35. Bell M, Liljestam E, Granath F, et al. Optimal follow-up time after continuous renal replacement therapy in actual renal failure patients stratified with the RIFLE criteria. *Nephrol Dial Transplant*. 2005;20:354-60.
36. Brown SJ, Child RB, Day SH, et al. Exercise-induced skeletal muscle damage and adaptation following repeated bouts of eccentric muscle contractions. *J Sports Sci*. 1997;15:215-22.
37. McHugh MP, Connolly DA, Eston RG, et al. Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. *Sports Med*. 1999;27:157-70.
38. Nosaka K, Clarkson PM. Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27:1263-9.
39. 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;33:1490-5.
40. Noakes TD, Carter JW. The responses of plasma biochemical parameters to a 56-km race in novice and experienced ultra-marathon runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1982;49:179-86.