

*Valores altos de creatina quinasa tras un  
exceso de electromioestimulación corporal  
integral: relevancia médica y evolución en el  
transcurso del entrenamiento*

**Wolfgang Kemmler, Marc Teschler,  
Michael Bebenek & Simon von Stengel**

**Wiener Medizinische Wochenschrift**

ISSN 0043-5341

Wien Med Wochenschr

DOI 10.1007/s10354-015-0394-1

# Valores altos de creatina quinasa tras un exceso de electromioestimulación corporal integral: relevancia médica y evolución en el transcurso del entrenamiento

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

Recibido: 22 de agosto de 2015 / Aceptado: 1 de octubre de 2015  
© Editorial Springer Viena 2015

**Resumen** Debido a su aprovechamiento del tiempo, su capacidad de personalización y su eficacia, la electromioestimulación corporal integral (WB-EMS, por sus siglas en inglés) se está haciendo cada vez más popular. En el pasado más reciente, después de una primera aplicación de WB-EMS, se han venido refiriendo unos valores de altos de creatina quinasa (CK, por sus siglas en inglés) que podrían ser críticos para la salud. Por lo tanto, el objetivo de la investigación ha sido 1) verificar correspondientemente los valores de CK altos, 2) calcular la relevancia médica de estos valores y 3) determinar su variación evolutiva en función del entrenamiento físico.

En la investigación participaron 26 personas sanas y deportistas sin experiencia previa en WB-EMS participaron. Una primera aplicación de máximo esfuerzo (bipolar, 85 Hz; 350 ms; intermitente, 20 min) conllevó que la CK se multiplicó por 117 ( $28.545 \pm 33.611$  UI/l) con un pico entre el tercer y cuarto día posterior al esfuerzo.

A pesar de esta pronunciada rabdomiólisis no se registraron complicaciones de salud (hiperpotasemia, hipocalcemia, insuficiencia renal aguda). Un entrenamiento con WB-EMS de 10 semanas con una sesión semanal llevó a una reducción significativa del incremento de CK después de una aplicación intensiva de WB-EMS hasta unos valores situados dentro del intervalo de esfuerzo convencional ( $906 \pm 500$  UI/l).

La aplicación de WB-EMS de máximo esfuerzo debe evitarse al menos al comienzo del proceso de entrenamiento, para excluir la posibilidad de riesgos para la salud de una intensidad inicial (demasiado) alta.

**Palabras clave** Electromioestimulación · CK · Mioglobina · Rabdomiólisis · Insuficiencia renal aguda

---

Prof. Dr. W. Kemmler [✉] · M. Teschler · M. Bebenek ·  
S. von Stengel  
Instituto de Física Médica,  
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU),  
Henkestrasse 91,  
91054 Erlangen, Alemania  
E-mail: wolfgang.kemmler@imp.uni-erlangen.de

## Introducción

La relativamente reciente tecnología del entrenamiento físico con electromioestimulación corporal integral (WB-EMS) es cada vez más popular, sobre todo en la zona donde tuvo su origen, Alemania y Austria. De hecho, esta “alternativa tecnológica de entrenamiento físico” se caracteriza por su aprovechamiento del tiempo, su capacidad de personalización y su eficacia, al menos en cuanto a los parámetros “composición corporal” y “fuerza muscular” [1–5]. En el pasado se publicaron unos valores de creatina quinasa (CK) extremadamente altos de forma más bien anecdótica, sobre todo después de una primera aplicación de WB-EMS, lo que parece en principio verosímil ya que la WB-EMS puede inervar todas las grandes zonas musculares ( $\approx 2500\text{--}3500\text{ cm}^2$ ) de forma simultánea, pero exclusivamente, con una intensidad superior a la máxima. Dado que la CK sirve como parámetro habitual del deterioro de la fibra muscular [6], una desviación de dicho parámetro sería perfectamente posible tras una aplicación (altamente) intensiva de la WB-EMS, como la que reclaman sobre todo los colectivos con alta motivación y/o atléticos. De hecho, algunos autores informan de unas concentraciones de CK en suero extremadamente altas después de una aplicación de WB-EMS, indicando unos máximos de 240.000 UI/l [7]. No cabe duda de que los mismos valores altos de CK, respecto a la problemática subyacente de la “rabdomiólisis por ejercicio físico” [8], pueden estar relacionados con complicaciones para la salud [9]. Si estas complicaciones aparecen de forma regular, la existencia de órganos dañados – sobre todo los riñones – no sólo es posible sino incluso probable entre personas sanas. Por lo tanto, ante este contexto se plantea la cuestión de si los valores de CK altos inducidos por la WB-EMS disminuyen con el entrenamiento físico – y dado el caso en qué medida – o si se mantienen a largo plazo a un nivel peligroso para la salud.

Así pues, el objetivo de las(s) presente(s) investigación(es) era: a) calcular del desvío de la CK inducido mediante la EMS inicial en comparación con otras modalidades deportivas con un elevado potencial de lesiones musculares, b) hacer un seguimiento paralelo de los parámetros de la lesión muscular y la carga y la función renal para valorar un efecto patogénico y c) establecer la evolución de la concentración de CK debido al entrenamiento físico en el transcurso del mismo.

Nuestras hipótesis de partida eran las siguientes: a) la concentración de CK después de una aplicación inicial de bajo “máximo esfuerzo” es significativamente alta en comparación con el esfuerzo atlético maratoniano e implica b) un riesgo para la salud; c) la desviación de CK inicialmente alta tras la primera aplicación de máximo esfuerzo se reduce en el transcurso del entrenamiento de forma significativa hasta un nivel sin riesgos comparable al de otras modalidades deportivas centradas en la fuerza.

## Material y métodos

Todas las investigaciones descritas se han realizado en el periodo comprendido entre febrero de 2014 y diciembre de 2014 en el Instituto de Física Médica (*Institut für Medizinische Physik*) de la Universidad Friedrich-Alexander (*Friedrich-Alexander Universität*) de Erlangen-Núremberg (FAU). Las instituciones que participaron fueron la Clínica Médica 1 (endocrinología) y 4 (nefrología) de la FAU. La investigación se llevó a cabo conforme a la Declaración de Helsinki de 1964 y se sometió a comprobación por la Facultad de Medicina de la FAU, de la que recibió su aprobación (solicitud ética 183\_14B). Después de una explicación detallada de los riesgos de la investigación, todos los participantes dieron su consentimiento por escrito para participar en el estudio.

## Diseño del estudio

La investigación se dividió en tres fases. Durante la 1ª fase (abril y junio de 2014) se investigó a lo largo de 5 días la influencia de una primera aplicación de WB-EMS sobre la cinética de CK comparada con una carrera de maratón atlética (ver abajo). Inmediatamente después, éstos participantes realizaron un entrenamiento de 10 semanas de WB-EMS (de abril a junio de 2014) con una aplicación final de EMS y un análisis sérico de CK a lo largo de 5 días. En la 3ª fase del proyecto (septiembre de 2014) se investigó de manera análoga a la 1ª fase, con una primera aplicación WB-EMS (ver abajo) en la que además de la CK se midieron otros parámetros de laboratorio relevantes (fig. 1).

## Muestra

Los participantes en la aplicación de WB-EMS se captaron mediante charlas personales y con información de detallada difundida en círculos de colegas, amigos y conocidos, y, asimismo, el director del estudio (MT, por sus siglas en inglés) también facilitó datos pormenorizados a los participantes. Después de aplicar los criterios de inclusión unificados para todos los proyectos de investigación a) sano, 25–50 años de edad, b) entrenamiento muscular regular ( $\geq 1$  sesión de entrenamiento (SE)/semana/12 meses), y los criterios de exclusión (a)

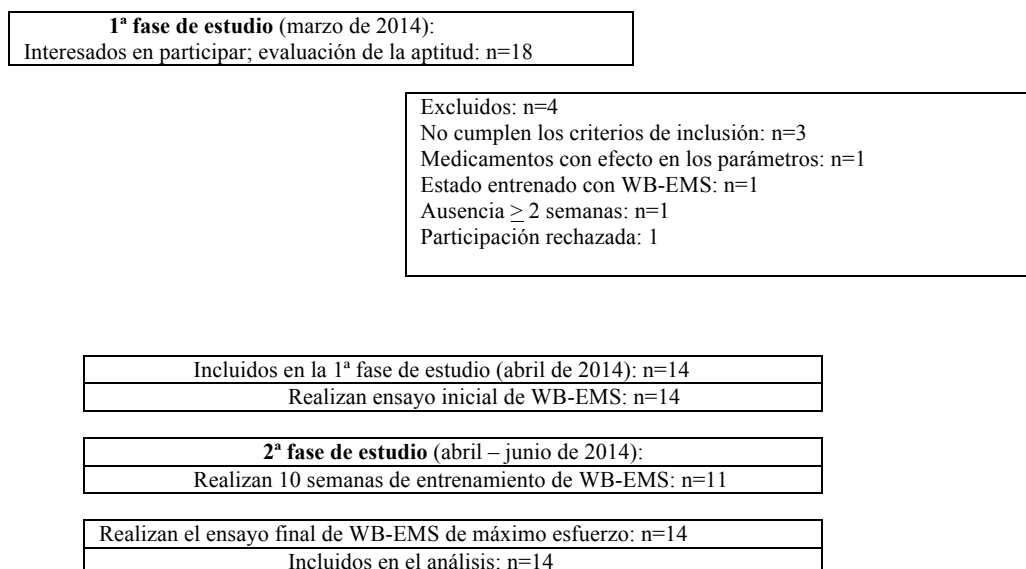
entrenamiento con WB-EMS anterior, b) enfermedades y medicamentos con efectos sobre el metabolismo muscular y renal, c) contraindicaciones contra el entrenamiento WB-EMS (como, por ejemplo, embarazo, epilepsia)) el número total de participantes seleccionados fue 26 (de las fases de estudio 1ª y 3ª) en el “grupo de estudio” de WB-EMS (fig. 1). Se informó a los corredores de maratón mediante cartas personalizadas ( $n = 150$ ) basándose en la lista de participantes del maratón de Fürth facilitada por la organización del evento. Los criterios de inclusión y exclusión de los corredores de maratón se correspondían con las características del grupo de la aplicación de WB-EMS. Los criterios diferenciadores del grupo de los corredores de maratón fueron el entrenamiento regular en carrera ( $> 3$  SE/semana/12 meses) en lugar del entrenamiento muscular. Finalmente, de un total de 9 personas interesadas se pudieron reclutar 6 corredores de maratón para la investigación.

## Aplicación de WB-EMS

En todas las investigaciones se utilizó la misma aplicación WB-EMS, con aparatos de la marca miha bodytec® (Gersthofen, Alemania) con los que, mediante 10 electrodos se cubrieron en total 8 grandes grupos musculares (muslo, parte glútea, parte baja de la espalda, parte alta de la espalda, latissimus, abdomen, pecho, parte superior del brazo) con aprox. 2700 cm<sup>2</sup> de superficie. Aplicamos un modelo de estimulación intermitente (bipolar, frecuencia: 85 Hz; ancho de impulso: 350 ms; subida / bajada de impulso: súbita y rectangular resp.; duración de impulso: 6 s, pausa 4 s) con una duración total de 20 min., en la que se llevan a cabo ejercicios físicos dinámicos durante la fase de corriente. A excepción de los ejercicios físicos que en el presente estudio se han señalado con una intensidad muy baja, la aplicación WB-EMS realizada fue prácticamente idéntica a la de los protocolos WB-EMS comerciales existentes actualmente [10]. Una característica decisiva de nuestro protocolo WB-EMS fue la aplicación de esfuerzo máximo posible que dirigimos en función de la sensación de esfuerzo subjetiva (SES) de los participantes de  $\geq 7$  (muy duro) sobre la escala de Borg CR 10 [11]. Un instructor regulaba - de manera similar a la forma de aplicación comercial - la intensidad de la corriente (de estimulación) de tres participantes, con independencia el uno del otro. La intensidad se incrementaba de acuerdo con los participantes cada 3-5 min entre un 2% y un 3% a fin de generar una intensidad de esfuerzo relativa en un nivel estable.

Para evaluar la cuestión de una reducción de CK inducida por el entrenamiento físico después de la aplicación WB-EMS repetida en el transcurso del entrenamiento, realizamos un entrenamiento de 10 semanas con una aplicación WB-EMS / semana y el protocolo de WB-EMS descrito anteriormente. Durante la sesión de entrenamiento supervisada, los participantes ajustaban por sí solos un amperaje alto sobre la base de los datos de la primera aplicación recogidos y guardados en tarjetas de memoria durante el transcurso de la sesión, a fin de mantener la indicación subjetiva de intensidad señalada de “muy dura” (RPE “7” en la escala de Borg CR-10).

**Fig. 1 Programa operativo y diagrama de flujo de las fases de estudio de la investigación [Diagrama]**



<b>3ª fase de estudio</b> (septiembre de 2014):
Interesados en participar; evaluación de la aptitud: n=14

Excluidos: n=2 Contraindicaciones del WB-EMS: n=1 Ausencia $\geq$ 2 semanas : n=1
---

Incluidos en la 3ª fase del estudio: n=12
Realizan el ensayo inicial de máximo esfuerzo de WB-EMS: n=12
Incluidos en el análisis (3ª fase): n=12

## Medidas de acompañamiento del estudio

La investigación se ha realizado bajo estricta supervisión y control médico. Se indicó a los participantes en el estudio que renunciaran en lo posible al consumo de narcóticos y estupefacientes durante todo el periodo de intervención o que redujeran la ingesta de alcohol y cafeína al menos antes de cada ensayo de esfuerzo de WB-EMS. Tampoco debían realizar esfuerzos prolongados (como, por ejemplo, correr una media maratón) ni intensos (como un “entrenamiento funcional” de máximo esfuerzo), sobre todo durante el periodo del ensayo de esfuerzo inicial y FU-WB-EMS. A todos los participantes se les recomendó encarecidamente aumentar en caso necesario la ingestión de líquidos hasta alcanzar  $\geq$  3 l/d (mujeres) y  $\geq$  3,5 l/d (varones), así como no realizar jamás las sesiones de entrenamiento en ayunas.

## Mediciones

El peso y la estatura corporales, así como los valores perimétrales de diversas regiones del cuerpo, se establecieron haciendo las correspondientes mediciones con aparatos calibrados. El porcentaje de grasa corporal se obtuvo mediante análisis de bio-impedancia (Inbody 230, Seúl, Corea).

## Extracción de sangre

Las extracciones se llevaron a cabo en estado de no-ayunas mediante venopunción en la parte interior del codo 15–30 min (WB-EMS) ó 12–14 horas (maratón) antes del inicio del esfuerzo, inmediatamente después del esfuerzo (15–60 min. después) así como 24, 48, 72 y 96 horas después de la finalización del esfuerzo. A los participantes se les indicó que no realizaran ningún esfuerzo físico ni actividad física relevante durante este intervalo de tiempo.

## Laboratorio

Todos los análisis se realizaron en el laboratorio central de la Clínica Médica I de la Universidad Friedrich-Alexander de Erlangen-Núremberg con un dispositivo de análisis de Beckmann Coulter Inc. (AU 5800, Brea, EE.UU.). La creatina quinasa se analizó usando el equipo de ensayo de la empresa Beckmann Coulter Inc. Además de la CK, en la 3ª fase del proyecto se registraron los parámetros séricos de potasio, sodio, calcio, urea, lactatodeshidrogenasa (LDH), creatinina, mioglobina (siempre utilizando dispositivos Beckmann Coulter Inc., Brea, USA) y la tasa de filtración glomerular estimada (conforme a la fórmula MDRD [12]).

## Orina

Para la detección de los valores de sangre, proteína, leucocitos y pH en la orina espontánea se realizó un análisis de orina mediante tiras reactivas (Multistix 10 SG, Siemens Healthcare Diagnostics, Frimley, Gran Bretaña) paralelamente a las extracciones de sangre (ver arriba). El análisis de las tiras reactivas se realizó de forma automática a través del *Siemens Clinitek Status Analyzer* (Siemens, Erlangen, Alemania).

## Cuestionario

El registro de las características basales, la actividad corporal y los dolores musculares después de la aplicación de WB-EMS se llevó a cabo mediante cuestionarios. La intensidad de los dolores musculares se estableció mediante una escala de 0 (sin dolor) a 7 (con dolor extremo) a lo largo de 5 días.

## Análisis estadístico

El análisis formal del índice de caída de la 1ª fase del proyecto se basaba en la diferencia de la variación de CK entre la WB-EMS y la carrera de maratón. Tomando como base los datos presentes [13, 14] para el aumento de CK inducido por el maratón ( $\approx 2500\text{--}3000$  UI/l; y aumento de CK de aprox. 15–20 veces) esperábamos una desviación de CK cuatro veces mayor después de la aplicación de WB-EMS comparada con un esfuerzo de una carrera de maratón (42,2 km). Para generar diferencias estadísticamente significativas ( $\alpha=5\%$ ;  $1-\beta: 80\%$ ) bastaban 4 personas / grupo al partir de una desviación estándar del orden de 1,5 veces de variación respecto al grupo de maratón.

El análisis formal del índice de caída de la 2ª fase del proyecto se basaba en la diferencia entre los ensayos de esfuerzo inicial y FU. Partiendo de un pico de CK inicial de 12.000 UI/l (ver arriba) esperábamos una reducción hasta  $\geq 2000$  UI/l, de tal modo que hacían falta 11 participantes para garantizar estadísticamente (ver arriba) las diferencias.

En el análisis se incluyeron todos los datos obtenidos. Respecto a la 2ª fase del proyecto realizamos un análisis “más completo” en el que se tuvieron en cuenta los datos de todos los participantes con datos FU (2ª fase del proyecto).

Los datos descriptivos se indican como valores medios con desviación estándar. Las diferencias entre los grupos se indican como desviación media con un intervalo de confianza del 95%.

La distribución normal se recopiló gráfica y estadísticamente (Test *Shapiro Wilks*). Las diferencias entre grupos se han analizado por medio de la prueba T emparejada o de la prueba de *Wilcoxon Rang*. Las diferencias entre los grupos se han analizado consistentemente con la prueba T según Welch. A pesar de los supuestos dirigidos se realizaron siempre pruebas bilaterales. Se consideró como significativo un nivel de significancia de  $p < 0,05$ . Los índices de efecto se calcularon según Cohen [15]. Los índices de efecto de  $d \leq 0,2$  se consideran como “bajos”, los de  $d \approx 0,5$  como “moderados” y los de  $d \geq 0,8$  como “altos”. Para todos los procesos estadísticos se hizo uso de SPSS 21.

**Tabla 1. Características basales de WB-EMS y del grupo de maratón**

Variable	WB-EMS ( $n = 26$ )	Maratón ( $n = 6$ )
Edad [años]	$32,0 \pm 7,9$	$41,7 \pm 8,1$
Masculino/femenino [ $n$ ]	24/2	6/0
BMI [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]	$23,6 \pm 2,3$	$22,9 \pm 1,0$
Masa magra [kg]	$66,0 \pm 9,4$	–
Grasa corporal [%]	$15,5 \pm 4,7$	–
Escala deportiva [min/semana]	$427 \pm 228$	$257 \pm 113$
Carreras de maratón realizadas [ $n$ ]	–	$8 \pm 4$ (de 5 a 14)

## Resultados

En la 1ª fase del estudio participaron 14 personas, de las cuales 11 se declararon dispuestas a participar en las medidas de entrenamiento WB-EMS (2ª fase del estudio) (fig. 1). Tres participantes renunciaron a participar en el proyecto por falta de tiempo debido a razones profesionales o por vacaciones. Otros doce participantes se sometieron en la 3ª fase del estudio a una única aplicación de WB-EMS con análisis de otros parámetros con relevancia muscular o renal (fig. 1).

Para responder la cuestión (1) los datos de CK se extrajeron de la medición inicial ( $n = 26$ , 1ª y 3ª fases). La tabla 1 muestra las características de los participantes de los grupos WB-EMS y de maratón.

En relación a las medidas de entrenamiento WB-EMS (2ª fase de estudio) todos los participantes ( $n = 11$ ) realizaron el entrenamiento WB-EMS conforme al protocolo (índice de presencia  $97 \pm 5\%$ ). El promedio de la sensación de esfuerzo subjetiva indicada por los participantes se situaba con  $7,0 \pm 0,2$  (Borg CR-10) dentro del marco de nuestro valor predeterminado de “7”.

Todos los participantes refirieron dolores musculares en el sentido de “*delayed onset muscular soreness*” (DOMS). La intensidad media ascendió a  $3,7 \pm 0,8$  (3–5) con los síntomas más marcados a partir del 2º y 3º día. Ninguno de los participantes refirió ningún otro efecto secundario no deseado después de la aplicación de WB-EMS.

### Aumento de la creatina quinasa después de la primera aplicación de WB-EMS

La tabla 2 presenta los valores de creatina quinasa (CK) inmediatamente después del esfuerzo correspondiente (WB-EMS *versus* maratón), 24, 48, 72 y 96 horas después del esfuerzo, así como el valor CK (UI/l) del incremento máximo (“valor pico”) de la concentración de CK. Los valores de CK basales, bastante altos, del grupo de WB-EMS se explican en cierto modo por la práctica deportiva de intensidad ligera-moderada ( $n = 5$ ; CK: 176–391 UI/l) o moderada ( $n = 1$ ; CK: 568 UI/l) respectivamente 2 ó 3 días antes del ensayo de esfuerzo inicial de WB-EMS. No obstante, los valores medios seguían siendo comparativamente altos, incluso si tenemos en cuenta estos participantes ( $208 \pm 117$ ).

En lo referente al valor pico de CK, el grupo de WB-EMS arrojó unos valores individuales entre 2366 y 143674 UI/l (MV  $\pm$  SD:  $28545 \pm 33611$ ,  $n = 26$ , tab. 2); el grupo de maratón, unos valores entre 470 UI/l y 4883 UI/l (MV  $\pm$  SD:  $2795 \pm 883$ ,  $n = 6$ ; tab. 2). Aprox. el 70% del grupo de WB-EMS son considerados como “*high responder*” [16] con valores de CK pico por encima de 10000 UI/l. Pese a que los valores basales eran significativamente elevados, el incremento relativo de la concentración de CK pico del grupo de WB-EMS era 117 veces mayor que la concentración basal, mientras que el incremento de CK después de un maratón ( $p = 0,002$ ) era de 22 veces. El pico de la concentración de CK en el grupo de maratón ya se alcanzó a las 48 horas, frente al del grupo de WB-EMS cuyo máximo aumento se dio en el intervalo existente entre las 72 y las 96 horas (tab. 2). Un subanálisis transcurridas 168 horas arrojaba en el grupo de maratón unos valores CK ( $n = 5$ ) en relación a la concentración basal ( $241 \pm 147$  UI/l), mientras que para el grupo de WB-EMS ( $n = 9$ ) en aquel momento aún se registraban unos valores claramente elevados ( $2638 \pm 2545$  UI/l). Por consiguiente se confirma la hipótesis 1 de que tras la primera aplicación de WB-EMS bajo “máximo esfuerzo” se puede observar un incremento de CK significativamente mayor que con el maratón atlético.

La tabla 3 presenta más parámetros séricos para la interpretación del deterioro muscular y la carga renal del cuadro sinóptico.

La tasa de filtración glomerular (estimada) se situaba con una sola excepción (57 ml/min a las 24 horas) en el rango normal por encima de 60 ml/min. La concentración media de creatinina sobre la que se basa dicho índice aumentó significativamente en  $15,1 \pm 9,3\%$ . Un participante presentó una concentración de creatinina ligeramente elevada (1,32 mg/dl). El calcio mostró un aumento no significativo del  $3,4 \pm 5,3\%$  (calcio  $> 2,7$  mmol/l;  $n = 0$ ); para la urea se registró un aumento significativo de  $15,0 \pm 14,5\%$ . En cuatro personas, el valor de urea se situó por encima del rango normal (44–55 mg/dl) de 43 mg/dl. Los electrolitos de potasio y sodio aumentaron de un modo igualmente significativo un  $15,9 \pm 10,2\%$  y un  $0,4 \pm 0,5\%$ , respectivamente, y en el caso de tres participantes quedaban ligeramente por encima del límite superior de 5,0 mmol/l para el potasio (sodio  $> 145$  mmol/l;  $n = 0$ ). La lactatodeshidrogenasa (LDH) se incrementó 4,3 veces ( $p = 0,003$ ) hasta valores pico (a las 72–96 horas), que en parte se sitúan claramente por encima del rango normal de  $< 250$  UI/l. La reacción más clara la evidenció la concentración de mioglobina, que después de la aplicación de WB-EMS aumentó aprox. 40 veces su valor. El pico de concentración de mioglobina se alcanzó entre las 42 y las 72 horas; una semana después de la aplicación EMS los valores de mioglobina aumentaron aún de forma ligera-moderada en todos los participantes (105–246  $\mu$ g/l). Una correlación bivariada (Pearson-Bravais) confirma la relación (muy) estrecha y algo desplazada en el tiempo entre los valores pico de la creatina quinasa y la concentración de mioglobina ( $r = 0,92$ ,  $p < 0,001$ ).

En la mayoría de los participantes, el análisis de orina espontánea no presentaba nada llamativo. Los valores del pH, el peso específico, la glucosa, la bilirrubina y los leucocitos quedaban dentro del rango normal en todos los momentos de medición. En 7 participantes se registraron indicios de proteína ( $< 30$  mg/dl); tres participantes presentaban una cantidad de eritrocitos de  $< 10$   $\mu$ l; un participante registró valores entre 10 y 80; en dos participantes la cantidad de eritrocitos era moderadamente elevada, con 80–200 eritrocitos/ $\mu$ l. Los niveles elevados se registraron a las 48 y/o 72 horas en uno y otro caso. No se observó ninguna coloración visible de la orina (“color coca-cola”).

Sin embargo, los altos niveles séricos del cuadro sinóptico, sobre todo los de mioglobina, indican la posibilidad de un riesgo para la salud después de la aplicación de WB-EMS de máximo esfuerzo.

La tabla 4 muestra los cambios de la concentración de CK (valor pico) registrados en la 3ª fase del proyecto después de un periodo de entrenamiento de 10 semanas. Partiendo de un valor basal de CK de  $287 \pm 172$  UI/l, la concentración de CK creció 3,2 veces, con el pico de CK apareciendo otra vez respectivamente a las 72 y a las 96 horas. Los valores pico individuales se situaron entre los 335 y los 1987 UI/l, sin que se apreciara ninguna



relación entre los valores pico de CK individuales (tab. 2), a diferencia de los obtenidos tras un periodo de acondicionamiento de 10 semanas ( $r = 0,10$ ).

La mioglobina y la concentración LDL mostraron una evolución paralela tras el periodo de acondicionamiento de 10 semanas, con unas concentraciones séricas pico de  $193 \pm 80 \mu\text{g/l}$  (basal de  $102 \pm 16 \mu\text{g/l}$ ;  $p = 0,007$ ) y  $242 \pm 43 \text{ UI/l}$  (basal de  $223 \pm 42 \text{ UI/l}$ ,  $p = 0,155$ ). La creatinina ya registraba niveles dentro del rango normal antes del entrenamiento (basal:  $1,06 \pm 0,10$  frente a FU:  $1,16$ ;  $p = 0,002$ ), y no presentó ninguna variación inducida por el entrenamiento que fuera relevante; de forma paralela se comportó la tasa de filtración glomerular estimada.

En síntesis, se puede aceptar la hipótesis (3) de que los valores de CK y demás parámetros de alto deterioro muscular y su correspondiente carga renal se reducen significativamente después de una aplicación de WB-EMS de máximo esfuerzo en el transcurso del entrenamiento a un nivel insignificante en la mayoría de los casos, en el rango de otras modalidades deportivas centradas en la fuerza [17].

**Tabla 2. Evolución de la creatina quinasa (CK) tras una aplicación inicial de WB-EMS sometida a máximo esfuerzo comparada con la carrera de maratón a lo largo de 5 días**

Momento (CK en UI/l)	WB-EMS (n = 26)	Maratón (n = 6)	Diferencia (95% CI)	p	Índice de efecto
Antes del esfuerzo	246 ± 174	130 ± 48	115 (de 34 a 195)	.006	.91
Después del esfuerzo	281 ± 183	361 ± 103	81 (de -39 a 201)	.171	.54
24 h post	3551 ± 4731	2630 ± 2058	922 (de -1698 a 3541)	.471	.25
48 h post	12.991 ± 17.480	1612 ± 1509	11.379 (de 4226 a 18.532)	.003	.92
72 h post	27.410 ± 33.770	1179 ± 1586	26.232 (de 12.539 a 39.925)	.001	1,10
96 h post	26.549 ± 29.960	746 ± 1081	25.803 (de 13.409 a 38.196)	.001	1,22
Valor pico de CK	28.545 ± 33.611	2795 ± 883	25.750 (de 12.075 a 39.424)	.001	1,08

**Tabla 3. Valores básicos y variación de parámetros sanguíneos (suero) tras una primera aplicación de WB-EMS a máximo esfuerzo, que se ponen en relación con complicaciones agudas y posteriores de una rabdomiólisis. LDH: lactatodeshidrogenasa.**

	Valor basal (n = 12) MV ± SD (mín. - máx.)	Valor pico (n = 12) MV ± SD (mín. - máx.)	p
Potasio [mmol/l]	4,27 ± 0,38 (3,5–4,9)	4,95 ± 0,18 (4,5–5,4)	<.001
Sodio [mmol/l]	140,9 ± 1,5 (139–143)	141,4 ± 1,2 (139–143)	.026
Calcio [mmol/l]	2,35 ± 0,15 (1,9–2,5)	2,43 ± 0,06 (2,3–2,5)	.075
Urea [mg/dl]	34,0 ± 7,8 (22–49)	39,1 ± 8,9 (24–55)	.003
Creatinina [mg/dl]	0,86 ± 0,12 (0,59–1,00)	0,99 ± 0,19 (0,61–1,32)	.001
LDH [UI/l]	187,6 ± 43,2 (128–241)	814,4 ± 565,8 (272–1832)	.003
Mioglobina [ $\mu\text{g/l}$ ]	68 ± 44 (5–157)	2706 ± 2194 (268–6967)	.002

**Tabla 4. Valor básico y variación de la concentración (pico) de CK tras la aplicación de WB-EMS de máximo esfuerzo antes y después de un periodo de entrenamiento de 10 semanas con WB-EMS**

CK [UI/l]	Antes de entrenamiento con WB-EMS (n = 11)	Después de entrenamiento con WB-EMS (n = 11)	Diferencia (95% CI)	p
Basal	278 ± 155	287 ± 172	10 (- 81 bis 100)	.818
Pico	17.575 ± 14.717	906 ± 500	16.669 (6810–26.528)	.004

## Discusión

La (primera) aplicación de WB-EMS de máximo esfuerzo puede conllevar una desviación extremadamente elevada de la concentración de CK [7] que se sitúa en el rango de valores más alto de la literatura científica (carrera de ultramaratón  $\geq 160 \text{ km}$ ) [18–21]. Skenderi et al. [20] daban parte de un aumento de la concentración de 245 veces (pico de CK:  $44.000 \pm 7000 \text{ UI/l}$ ) después de un esfuerzo en carrera (espartatlón, 246 km); como valor individual más alto que se nos ha presentado (carrera de 100 millas con grandes desniveles) se indica  $264.000 \text{ UI/l}$  [18]. Si se revisan los criterios mencionados en la literatura, una elevada desviación de CK después de esfuerzos (excéntricos) intensos (cuadro sinóptico en [17]), son adecuados los criterios de aplicación de WB-EMS tales como a) porcentaje alto en musculatura de la parte superior del cuerpo [22], b) “volumen grande” [23], c) pausas cortas [24], d) alta



velocidad de movimiento / inervación [25] y e) alta intensidad de estimulación [26] y estrés mecánico elevado (cuadro sinóptico en [17, 27]) de forma especialmente acentuada. Al aumento de CK inicial extraordinariamente elevado de la presente investigación contribuyen a) la escasa presencia de mujeres, a las que se atribuye generalmente una menor desviación de CK inducida por el esfuerzo [28, 29], y b) la falta de costumbre de todos los participantes respecto al esfuerzo de la WB-EMS [27, 30]. Al contrario que ocurre con los esfuerzos de larga duración excesivos ( $\approx 24\text{--}48$  horas, [31]) el valor pico inducido por WB-EMS de la concentración de CK en el suero no se alcanza hasta las 72–96 horas (compárese con [32]); después de aproximadamente la misma duración (72–96 horas) la concentración de CK vuelve a alcanzar los valores basales.

A causa de su elevada sensibilidad, la CK sirve como indicador sérico primario de una rabdomiólisis [9]. Aunque no hay límites vinculantes establecidos, un aumento del umbral superior del rango normal de CK de hasta 10 veces (es decir de 1700 UI/l) se clasifica como rabdomiólisis ligera; un aumento de entre 11 y 49 veces, como moderada; y un aumento de 50 veces, como rabdomiólisis acentuada [33]. En la práctica, aprox. un 70% de nuestro grupo de WB-EMS presenta una rabdomiólisis acentuada “por ejercicio físico” o generada fundamentalmente mediante un esfuerzo físico (muy) alto [34]. La relevancia clínica de la rabdomiólisis se puede subdividir en complicaciones agudas, como hiperpotasemia, hipocalcemia y lesión hepática, y complicaciones posteriores (12–72 horas), como, principalmente, insuficiencia renal aguda [9]. Por lo que respecta a las complicaciones agudas, no se ha detectado ninguna anomalía clínica, pero sí un aumento significativo del nivel de potasio que, sin embargo, permanece por debajo del límite de una hiperpotasemia ( $> 5,2$  mmol/l) en todos los participantes.

Como consecuencia de la liberación de componentes celulares tras una lesión muscular, la insuficiencia renal aguda se considera la complicación principal de una rabdomiólisis. Junto con la elevada concentración sérica de CK y LDH (tab. 3), en este contexto resulta especialmente relevante la mioglobina (aquí: aumento de 40 veces) con su complejo efecto nefrotóxico [34]. En síntesis, no pudimos constatar ningún síntoma de insuficiencia renal aguda en ningún participante, definida ésta como un aumento de la concentración de creatinina sérica basal hasta el triple, ni de un valor pico por encima de los 4 mg/dl (criterio RIFLE; [35]). Dado que la tasa de filtración glomerular (estimada) era sólo estimada y que el volumen de urea no aumentó, este hallazgo no puede considerarse como completamente verificado. Sin embargo, para los facultativos ha sido seguramente una sorpresa lo poco acentuada que resulta la reacción de potasio, calcio y/creatinina a pesar de la rabdomiólisis acentuada, con valores de CK y mioglobina consecuentemente elevados (al menos en este colectivo fuerte y sano, y bajo supervisión médica. Pero si se considera que las condiciones marco (por ejemplo criterios de exclusión, entrenamiento físico adyuvante, ingestión de líquidos, consumo de drogas) de una aplicación de WB-EMS en la praxis de entrenamiento no están tan normalizadas ni indicadas con tanto rigor como en el seno de un estudio científico, el riesgo de un perjuicio para la salud después de una aplicación de máximo esfuerzo en la praxis del entrenamiento es, con toda seguridad, notablemente superior.

En relación a un “efecto de episodios repetidos”, la concentración de CK, extremadamente alta después de una primera aplicación de WB-EMS con un entrenamiento WB-EMS regular, debería reducirse con relativa rapidez hasta unas desviaciones de CK moderadas [38], en comparación con las de después de un entrenamiento intenso excéntrico [16, 36–38]. Nosaka et al. [38], en este contexto y después de una sesión de ejercitación excéntrica de máximo esfuerzo de los músculos flexores de los brazos (3 series de 10 repeticiones con 80% 1RM), no registraron ningún otro aumento en la concentración de CK en las sesiones de ejercicio posteriores (días 3 y 9), sino, por el contrario, un descenso de la concentración de CK hasta valores por debajo de los 1000 UI/l (pico de CK: aprox. 4200 UI/l). Tampoco Brown et al. [36] registran (ya) ningún incremento destacable de la concentración de CK después de 50 contracciones máximas de los extensores de las piernas, después de 10, 20 ó 50 contracciones de los extensores en otra sesión de entrenamiento 3 semanas más tarde. Nosaka et al. [39] señalan en otras investigaciones que este “efecto de episodios repetidos” de una sesión de entrenamiento intensa excéntrica de máximo esfuerzo sobre la concentración de CK sigue manteniéndose hasta 6 meses. En el presente estudio hemos investigado el efecto de acondicionamiento de un entrenamiento de WB-EMS regular (10 sesiones de entrenamiento) sobre la desviación de CK sobre la base de los elevados valores pico iniciales (sólo) a partir de las 10 semanas. Nuestro resultado de valores de CK incrementados sólo de forma moderada ( $906 \pm 500$  UI/l) después de la aplicación WB-EMS de máximo esfuerzo confirma los resultados presentados, con un incremento significativamente menor de la CK tras la intervención de entrenamiento, pero este efecto beneficioso podría haber aparecido bastante antes.

En resumen, la aplicación inicial excesiva de WB-EMS bajo máximo esfuerzo conlleva unos valores de CK muy altos con relevancia negativa para la salud, que en personas en circunstancias desfavorables (como, por ejemplo, déficit de líquidos, consumo de drogas) o lesiones ya existentes pueden desencadenar drásticas complicaciones. No obstante, con otros esfuerzos comparables se reducen las concentraciones séricas de CK y mioglobina (a más tardar) 10 semanas después de la fase de condicionamiento, hasta unos valores similares a los de otras formas de entrenamiento (centrados en la fuerza).

Como consecuencia de cara a la aplicación de WB-EMS, las sesiones de entrenamiento iniciales y los “entrenamientos de prueba” **no** se deben realizar bajo un máximo esfuerzo, tampoco en caso de petición o exigencia del participante. Se deben llevar a cabo fundamentalmente con una intensidad inicial menor (por tanto amperaje) y /

o una duración menor de la aplicación; menos conveniente resulta una reducción de la superficie de estimulación. Paralelamente a lo anterior, ya en los prolegómenos de la actividad hay que instruir al participante en profundidad sobre los riesgos, los códigos de conducta y la preparación correcta para la aplicación WB-EMS.

Algunas peculiaridades y la limitación de la investigación dificultan la interpretación y la generalización de nuestros resultados. Respecto a esto último, el ámbito de aplicación de nuestros resultados se sitúa primeramente dentro del rango de aplicación EMS de baja frecuencia con protocolo de esfuerzo intermitente. Otra limitación radica en nuestra decisión de incluir personas que entrenan de forma intensa. En el trasfondo de esta manera de proceder estaba la indicación de un “máximo esfuerzo”, razonablemente factible para deportistas experimentados con la formación necesaria para tener sensibilidad sobre el esfuerzo. Sin embargo, uno de los principales criterios de selección para pertenecer a este grupo era que, en la práctica de aplicación de WB-EMS del momento, este grupo de usuarios, motivado y centrado en el deporte y la competición, “demandara” una aplicación de WB-EMS (demasiado) intensa. Los colectivos que no practicaban deporte u orientados fundamentalmente a la salud apenas están sujetos al riesgo de un esfuerzo de WB-EMS demasiado alto [3], de modo que la relevancia de nuestra cuestión para este colectivo es poco menos que irrelevante. Sin embargo, como mera hipótesis [40] creemos que las personas con abstinencia deportiva, ante una aplicación WB-EMS de alta intensidad dirigida por terceros, pueden presentar unas desviaciones en la concentración de CK como indicador de una rhabdomiólisis mayores que en personas con un acondicionamiento muscular previo convencional orientado al esfuerzo.

Un defecto definitivo de la fase de proyecto larga (proyecto parcial 2) radica en el espacio temporal relativamente largo entre las tomas de sangre (10 semanas), que no permite una cinética de CK firme. Por esta razón no pudo evaluarse un posible retroceso claramente anterior de la concentración de CK [38] hasta un valor relativamente inofensivo.

### **Agradecimientos**

Un agradecimiento especial para la Dra. Anke Dahlmann (Clínica Médica 4, FAU) por tanto tiempo dedicado al acompañamiento médico de la(s) investigación(es). Este agradecimiento se extiende también a la catedrática Dra. Zopf y su equipo (Clínica Médica 1, FAU) por su colaboración en las extracciones de sangre y el apoyo médico de laboratorio. Al Dr. Bernd Langenstein (Clínica de Núremberg Sur) quisiéramos agradecerle su apoyo técnico especializado para la interpretación de los parámetros de laboratorio obtenidos.

### **Conflicto de intereses**

Para ninguno de los autores (Kemmler, Teschler, Bebenek, von Stengel) existe conflicto alguno de intereses.

### **Bibliografía**

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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).
5. Vatter J. Elektrische Muskelstimulation als Ganzkörper- training – Multicenterstudie zum Einsatz von Ganzkörper- EMS im Fitness-Studio. AVM-Verlag München; 2010.
6. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull.* 2007;81–82:209–30.
7. 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.

8. 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.
9. Zutt R, van der Kooij AJ, Linthorst GE, et al. Rhabdomyolysis: review of the literature. *Neuromuscul Disord.* 2014;24:651–9.
10. Vatter J, Authenrieth S, Müller S. *Betreuungshandbuch EMS health and beauty.* Karlsruhe: Health and Beauty; 2014.
11. 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.
12. Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, et al. A new equation to estimate glomerular filtration rate. *Ann Intern Med.* 2009;150:604–12.
13. 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.
14. 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.
15. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* Hillsdale: Lawrence Earlbaum Associate; 1988.
16. Chen TC. Variability in muscle damage after eccentric exercise and the repeated bout effect. *Res Q Exerc Sport.* 2006;77:362–71.
17. Koch AJ, Pereira R, Machado M. The creatine kinase response to resistance exercise. *J Musculoskeletal Neuronal Interact.* 2014;14:68–77.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.