

Article

El Efecto del Ultrasonido Portátil de Baja Intensidad en el Lactato Sanguíneo y el Rendimiento Muscular después del Ejercicio de Resistencia de Alta Intensidad

The Effect of Low Intensity Wearable Ultrasound on Blood Lactate and Muscle Performance After High Intensity Resistance Exercise

Matthew D. Langer¹, Heidi K. Byrne², Timothy Henry², George Lewis¹ y Craig Mattern²

¹Sistemas ZetrOZ, LLC, 56 Quarry Rd, Trumbull, CT 06611

²La Facultad en Brockport-SUNY, Departamento de Kinesiología, Estudios Deportivos y Educación Física, 350 New Campus Drive, Brockport, NY 14420

RESUMEN

El propósito de este estudio fue determinar si un dispositivo de ultrasonido portátil de baja intensidad (LIWU, por sus siglas en inglés) mejora la recuperación del ejercicio al reducir el lactato sanguíneo, lo que resulta en un mejor rendimiento muscular isocinético después del ejercicio de resistencia de las extremidades inferiores. El impacto del LIWU en la recuperación del ejercicio y el rendimiento se exploraron a través de un diseño cruzado, doble-ciego, controlado por simulador. Dieciséis sujetos completaron la estimación de 1 repetición máxima (1-RM) para cinco ejercicios de resistencia de miembro inferior. Los sujetos realizaron sesiones de ejercicio idénticas usando un LIWU activo o un dispositivo simulado aplicado a los cuádriceps e isquiotibiales en reposo y durante el ejercicio. La concentración de lactato sanguíneo se midió antes del circuito de entrenamiento con peso al 70% de 1-RM y durante la recuperación de 60 minutos. Después de la recuperación, los sujetos realizaron ejercicios de extensión y flexión de las piernas en un dinamómetro isocinético a dos velocidades de movimiento. En cada punto de tiempo post-ejercicio, la concentración de lactato se redujo significativamente en el tratamiento activo en comparación con el tratamiento simulado. También hubo diferencias significativas entre las condiciones activas y simuladas en el rendimiento muscular. Estos datos sugieren que el dispositivo LIWU es una modalidad eficaz para reducir el lactato sanguíneo post-ejercicio y mejorar la extensión de la rodilla a baja velocidad.

Palabras Clave: Lactato, Recuperación, Ultrasonido de Fuerza

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine if a low intensity wearable ultrasound (LIWU) device enhances recovery from exercise by reducing blood lactate resulting in improved isokinetic muscle performance after lower extremity resistance exercise. The impact of LIWU on exercise recovery and performance were explored through, a double-blind, sham-controlled, crossover design. Sixteen subjects completed 1-repetition maximum (1-RM) estimation for five lower-body resistance exercises. The subjects performed identical exercise sessions wearing either an active LIWU or a sham device applied to the quadriceps and hamstrings at rest and during exercise. Blood lactate concentration was measured before circuit weight training at 70% of the 1-RM and during the 60-min recovery. After recovery, the subjects performed leg extension and flexion exercises on an isokinetic dynamometer at two movement speeds. At each post-exercise time point, the lactate concentration was significantly reduced in the active treatment compared to the sham treatment. There were also significant differences between the active and sham conditions on muscle performance. These data suggest the LIWU device is an effective modality for reducing post-exercise blood lactate and improving slow speed knee extension.

Keywords: Lactato, Recuperación, Ultrasonido de Fuerza

INTRODUCCIÓN

La acumulación de ácido láctico en el músculo esquelético durante el ejercicio anaeróbico intenso contribuye a la fatiga y tiene una influencia negativa en el rendimiento posterior del ejercicio. Específicamente, son los protones (H⁺) que están disociados del ácido láctico, lo que causa una disminución en el pH del músculo. Se ha demostrado que esta disminución del pH puede inhibir la función enzimática, particularmente la fosfofructoquinasa. El resultado es una desaceleración de la vía glucolítica y un consecuente compromiso en la producción de ATP. Además, la acumulación de H⁺ en el músculo esquelético se ha sugerido para desplazar el Ca⁺⁺ de la troponina que compromete el ciclo de puente cruzado y la producción de fuerza muscular (4).

Por lo tanto, es ventajoso bajar los niveles de lactato sanguíneo después de un episodio inicial de ejercicio intenso para asegurar un posterior rendimiento óptimo de ejercicio. Varias intervenciones terapéuticas que muestran resultados modestos han sido evaluadas por su capacidad para mejorar el retorno del lactato hacia los valores basales. Generalmente, estas intervenciones centran sus esfuerzos en promover el flujo sanguíneo post-ejercicio para mejorar el movimiento del lactato y acompañar el H⁺ fuera del músculo y dentro de los tejidos que consumen lactato, como el músculo esquelético tipo I, el hígado y el corazón (4).

El masaje, la recuperación activa y el estiramiento se han utilizado después del ejercicio para aumentar el rendimiento muscular disminuyendo los niveles de lactato. Varias investigaciones actuales (6,12,16) han demostrado que el masaje es ineficaz, y posiblemente perjudicial con respecto al flujo sanguíneo y la reducción del lactato. Un masaje de 5 minutos no redujo los niveles de lactato en comparación con la recuperación pasiva después de un ejercicio súper-máximo (12,16). Un estudio separado concluyó que el masaje deportivo era perjudicial para el nivel de lactato debido a la promoción del flujo sanguíneo arterial retrógrado (20). Ce et al. (6) concluyeron que ni el masaje profundo ni el masaje superficial afectaron la remoción de lactato después de ejercicio de bicicleta intenso.

Por el contrario, la recuperación activa, definida como ejercicio de intensidad ligera a moderada entre el 40% y el 50% del consumo máximo de oxígeno (VO₂máx) puede ser beneficiosa para la remoción del lactato (6,16). La diferencia en la cinética de eliminación del lactato entre las técnicas de recuperación incluyendo la recuperación activa, la recuperación pasiva y el masaje, se ha evaluado después del ejercicio de alta intensidad (6,16). En ambas investigaciones de Ce et al. (6) y Monedero y Donne (16), la recuperación activa redujo los niveles de lactato en comparación con la recuperación pasiva en un ~16% (P <0,05); mientras que el masaje no tuvo efecto. Además, se observó un aumento de la frecuencia cardíaca, lo que sugiere un aumento en el flujo sanguíneo al músculo en actividad.

El estiramiento también se ha propuesto como un mecanismo para aumentar el flujo sanguíneo muscular después del ejercicio. Sin embargo, el papel del estiramiento en el nivel de lactato sigue siendo poco claro. Miladi et al. (15) indican que el estiramiento dinámico disminuye el lactato en comparación con la recuperación pasiva, mientras que el estiramiento estático tiene realmente un efecto perjudicial cuando se compara con la recuperación pasiva al reducir el flujo sanguíneo a los músculos (6).

Los beneficios potenciales del ultrasonido terapéutico incluyen aumento del flujo sanguíneo, aumento de la tasa de

reparación tisular y aumento del transporte de nutrientes a través de las membranas celulares (8,9,11,17). Estos son efectos fisiológicos del ultrasonido que han sido estudiados en el contexto clínico y documentados en la bibliografía. El ultrasonido terapéutico causó un aumento de 4 veces en la hemoglobina oxigenada en el tejido muscular local, medida por espectroscopia del infrarrojo cercano. Este efecto persistió durante 20 min después de finalizar el tratamiento con ultrasonido (17). Aplicado a las lesiones de los tejidos blandos que incluyen tendinitis calcificada, el ultrasonido terapéutico se ha relacionado con la reparación del tejido y el retorno a la función (9).

Estas respuestas fisiológicas al ultrasonido resultan de efectos biológicos que dependen de los parámetros de tratamiento seleccionados por el médico clínico, incluyendo frecuencia, intensidad, y duración (19). Cuando el ultrasonido (es decir, una onda acústica) entra en el cuerpo, la energía acústica se absorbe gradualmente, atenuando la onda. A medida que se absorbe, parte de la energía se convierte en calor, parte de la energía es absorbida por el fluido que se mueve en la dirección de la onda (un fenómeno llamado transmisión acústica), y una parte de la fuerza es absorbida por el fluido a través de la cavitación estable (burbujas inducidas por baja presión que se dilatan y se contraen en un campo de presión). Se ha documentado la aplicación de tal campo de baja intensidad y larga duración para obtener una respuesta biológica al menos 3 cm por debajo de la superficie del tejido (12).

Los avances en el diseño del dispositivo de ultrasonido terapéutico y en la tecnología de suministro han dado lugar a un nuevo tipo de tratamiento utilizando un dispositivo de ultrasonido portátil de baja intensidad (LIWU) (11) (Figura 1). Mientras se usa en un solo lugar, el dispositivo emite ultrasonido continuo, de baja intensidad y larga duración dentro de los límites de seguridad aceptados para la exposición térmica (18). Su naturaleza portátil también significa que puede ser aplicado por un novato, y puede ser utilizado durante actividades diarias normales así como durante ejercicio.

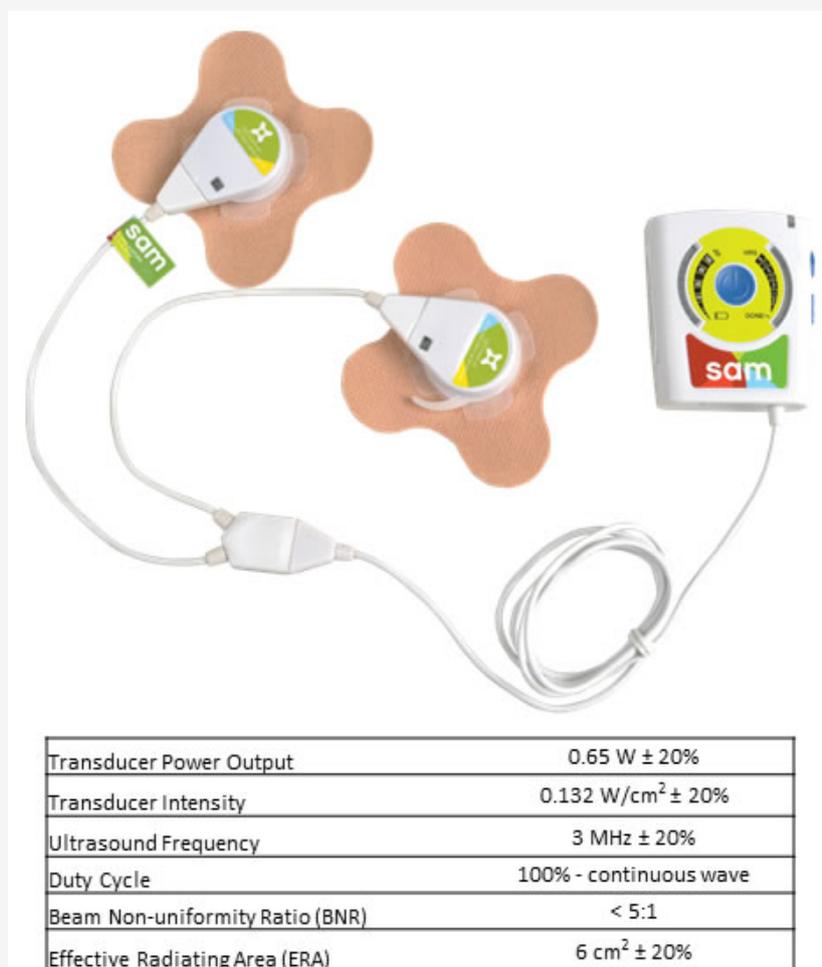


Figura 1. Un Dispositivo Portátil de Ultrasonido de Baja Intensidad (LIWU) con Dos Transductores de Ultrasonido Conectados a Parches de Acoplamiento Sujetos a un Solo Controlador de Potencia. Las especificaciones para el sistema están en la Tabla.

Este estudio busca examinar los efectos de un dispositivo LIWU antes, durante y después del ejercicio de resistencia de alta intensidad de las extremidades inferiores sobre los niveles de lactato sanguíneo y el rendimiento muscular isocinético de las extremidades inferiores. Se plantea la hipótesis de que el dispositivo LIWU permitirá la recuperación mediante la facilitación de la reducción de lactato y los iones asociados de los tejidos musculares, resultando en un mejor rendimiento muscular después del ejercicio de resistencia de las extremidades inferiores.

MÉTODOS

Sujetos

La Junta de Revisión Institucional del Colegio de Brockport-SUNY aprobó el protocolo (#2013-129). El personal de investigación revisó el protocolo, las medidas y los requisitos con los sujetos que proporcionaron el consentimiento informado antes de la inscripción. Dieciséis hombres sanos, activos, entre 20 y 24 años de edad (Tabla 1) participaron en este estudio. Todos los sujetos informaron experiencia previa de entrenamiento de resistencia de al menos 3 d·sem⁻¹ durante 6 meses o más. Ellos estaban libres de lesiones ortopédicas de los miembros inferiores, y cada sujeto acordó no usar medicamentos antiinflamatorios, recibir un masaje, buscar la ayuda de un fisioterapeuta o consumir suplementos nutricionales durante el estudio y las 2 semanas anteriores en el examen. Ninguno de los sujetos abandonó el estudio y no se notificaron eventos adversos durante el mismo.

Tabla 1. Datos descriptivos de los sujetos

Variables	
Sujetos	16
% Masculino	100
	Media ± DE
Edad (años)	22 ± 2
Altura (cm)	179 ± 7
Peso (kg)	87 ± 12

Enfoque Experimental del Problema

La intención del diseño del estudio fue comparar los niveles de lactato sanguíneo y el torque máximo, trabajo y potencia musculares post-ejercicio, con un dispositivo LIWU activo (modelo sam-12, ZetrOZ Inc, Trumbull, CT) versus un dispositivo simulado. Se utilizó un diseño cruzado para controlar las variaciones en el procesamiento de lactato. Un período de lavado de 3 a 7 días entre los tratamientos evitó cualquier efecto de arrastre entre las condiciones experimentales. Las variables independientes fueron tiempo (para las mediciones de curso de tiempo de lactato) y tratamiento (la aplicación de un dispositivo LIWU activo versus un dispositivo simulado). Las variables dependientes fueron la concentración de lactato sanguíneo, y tres medidas de rendimiento muscular (torque máximo, potencia media y trabajo total) registradas por un dinamómetro isocinético (Biodex System 2, Biodex Medical Systems, Shirley, NY).

Los sujetos asistieron a tres citas de laboratorio: una evaluación basal/familiarización y dos sesiones de tratamiento. Cada visita fue separada por 3 a 7 días para permitir una recuperación muscular adecuada entre las visitas. En la visita 1 se incluyó la explicación del estudio, la firma del consentimiento informado, la familiarización con la evaluación del rendimiento muscular isocinético y la medición de la fuerza muscular dinámica máxima en el miembro inferior a través del test de 1 repetición máxima estimada (1-RM). Las visitas 2 y 3 fueron idénticas entre sí, con la excepción de que una de las visitas involucró la aplicación de dispositivos activos de LIWU en las extremidades inferiores, mientras que la otra visita empleó dispositivos simulados, según el diseño cruzado. El orden del tratamiento fue asignado al azar, con 8 sujetos que recibieron el tratamiento simulado primero, y los otros 8 que recibieron el tratamiento activo primero. Ambas visitas 2 y 3 implicaron la aplicación de dispositivos activos o simulados seguidos de la finalización de un protocolo de entrenamiento con pesas de circuito de miembro inferior. El entrenamiento con pesas de circuito de miembro inferior se seleccionó como el método para elevar el lactato sanguíneo y crear fatiga muscular, basado en el trabajo piloto de los autores. La prueba piloto inicial midió la concentración de lactato sanguíneo después de la prueba de fase anaeróbica (2), sin embargo los valores de 6 a 7 mmol·L⁻¹ fueron inferiores a los deseados. Por lo tanto, se desarrolló un protocolo de entrenamiento con pesas de circuito de miembro inferior para producir niveles de lactato sanguíneo post-ejercicio en el rango de 10 a 12

mmol·L⁻¹. Después de la realización del protocolo de entrenamiento con pesas de circuito, los sujetos se recuperaron por 60 minutos durante los cuales se midió el lactato sanguíneo y se terminó con la evaluación del rendimiento muscular isocinético (Figura 2).

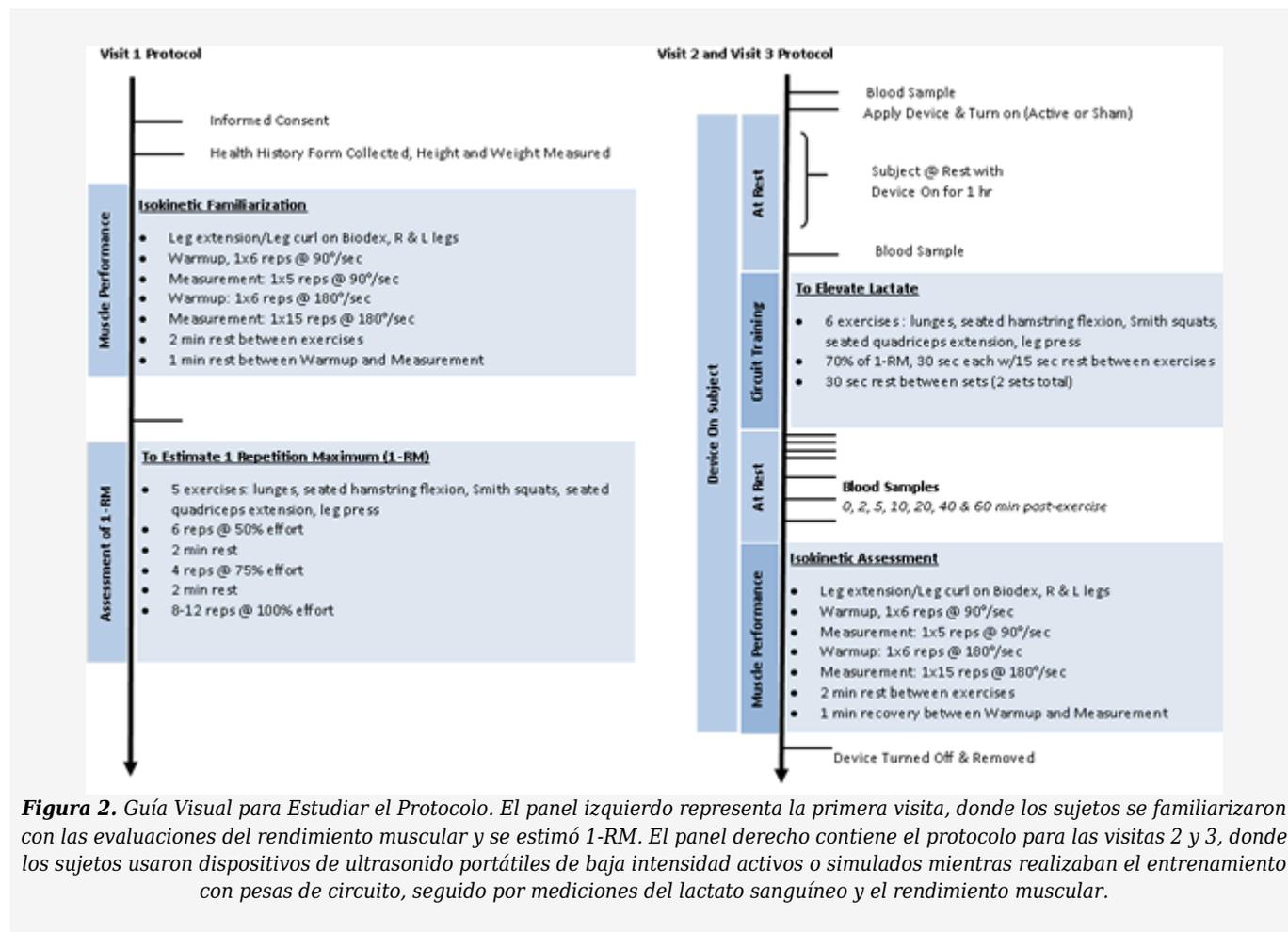


Figura 2. Guía Visual para Estudiar el Protocolo. El panel izquierdo representa la primera visita, donde los sujetos se familiarizaron con las evaluaciones del rendimiento muscular y se estimó 1-RM. El panel derecho contiene el protocolo para las visitas 2 y 3, donde los sujetos usaron dispositivos de ultrasonido portátiles de baja intensidad activos o simulados mientras realizaban el entrenamiento con pesas de circuito, seguido por mediciones del lactato sanguíneo y el rendimiento muscular.

Familiarización y Evaluación del Rendimiento Muscular Isocinético

Los sujetos se familiarizaron con la evaluación del torque muscular isocinético, la potencia y el trabajo para la extensión de pierna y la flexión de pierna durante la visita 1, de modo que las mediciones fueran más precisas cuando se realizaron al final de las visitas 2 y 3. Antes de su uso, el dinamómetro isocinético fue calibrado de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Se realizó una serie de calentamiento de 6 repeticiones sub-máximas a una velocidad angular de 90 grados-seg-1 seguida de 1 min de descanso. A continuación, los sujetos realizaron 1 serie de 5 repeticiones a una velocidad angular de 90 grados-seg-1. Los sujetos fueron instruidos para realizar cada repetición en esta serie a un esfuerzo máximo con el fin de obtener resultados consistentes. Después de 2 minutos de reposo, se realizó una serie de calentamiento de 6 repeticiones sub-máximas a una velocidad angular de 180 grados-seg-1, seguida de 1 minuto de descanso. Finalmente, se realizó 1 serie de 15 repeticiones de esfuerzo máximo a 180 grados-seg-1. La fuerza muscular ejercida durante el ejercicio fue registrada por el equipo, y se recogieron tres datos de salida de cada ejercicio: el torque máximo, el trabajo total y la potencia media.

Estimación de la Fuerza Muscular Dinámica Máxima (1-Repetición Máxima, 1-RM)

Se determinó una estimación de 1-RM para los ejercicios enumerados a continuación (5). Cada sujeto calentó realizando 6 repeticiones de cada ejercicio al ~50% del esfuerzo máximo seguido de 4 repeticiones al ~75% del esfuerzo máximo. Cada serie de calentamiento fue seguida por 2 min. Para cada ejercicio se le pidió al sujeto que realizara de 8 a 12 repeticiones del ejercicio usando un peso que llevaría al agotamiento en la 12ª repetición. Todos los ejercicios se realizaron en el equipo de entrenamiento de circuito con la excepción de las estocadas. A continuación se proporciona una descripción de cada ejercicio:

Estocadas

Utilizando un gran movimiento de paso y sosteniendo mancuernas con peso, el sujeto adelantó un paso de una manera alterna tal que el cuerpo bajó hasta que la pierna delantera estaba en un ángulo de rodilla de ~90°. El sujeto entonces empujó el suelo con fuerza para volver a la posición inicial para luego repetir el ejercicio con la otra pierna.

Flexión del Isquiotibiales Sentado

Mientras el sujeto estaba en posición de sentado y usando el Cybex Leg Curl Modelo 11061, las piernas estaban extendidas y paralelas al suelo. El sujeto flexionó las rodillas a ~90 ° y luego volvió a la posición inicial.

Sentadillas Smith

Mientras el sujeto usaba el modelo 5341 de Cyber Smith Press con la barra de sentadilla sobre los hombros, se agachó y bajó la barra hasta un ángulo de rodilla de ~90 ° y luego volvió a ponerse de pie.

Extensión de Cuádriceps Sentado

Utilizando el modelo de extensión de pierna Cybex 11051, el sujeto asumió una posición de sentado con las rodillas flexionadas a ~90°, el sujeto extendió las piernas hasta lo más cerca posible de colocarlas paralelas al suelo y luego volvió a la posición de partida.

Press de Pierna

Desde una posición de sentado con las rodillas a 90°, el sujeto utilizó el Cybex Leg Press modelo 11041 para extender completamente las caderas mientras presionaba los hombros y la espalda en la almohadilla posterior, y luego volvió a la posición inicial.

La ecuación 1 se utilizó para estimar 1-RM para cada ejercicio (5):

$$1\text{-RM} = (\text{peso elevado}) / [1,00 - (0,02 * \text{número de repeticiones})] \text{ (Eq 1)}$$

Aplicación de los Dispositivos LIWU

Se retiró el vello de las piernas para controlar la variación individual en el acoplamiento del ultrasonido y la piel se limpió con alcohol antes de la colocación del parche. Se colocaron un total de 8 parches adhesivos de acoplamiento de ultrasonido en las extremidades inferiores con cuatro en cada pierna. Para cada pierna, dos parches fueron colocados en el músculo cuádriceps; uno 3 a 4 pulgadas por encima de la parte superior de la rótula y el otro 4 pulgadas por encima del primer parche. También se colocaron dos parches en los músculos isquiotibiales; uno 3 o 4 pulgadas por encima de la rodilla y el otro aproximadamente en la unión de los isquiotibiales y el músculo glúteo mayor (Figura 3).

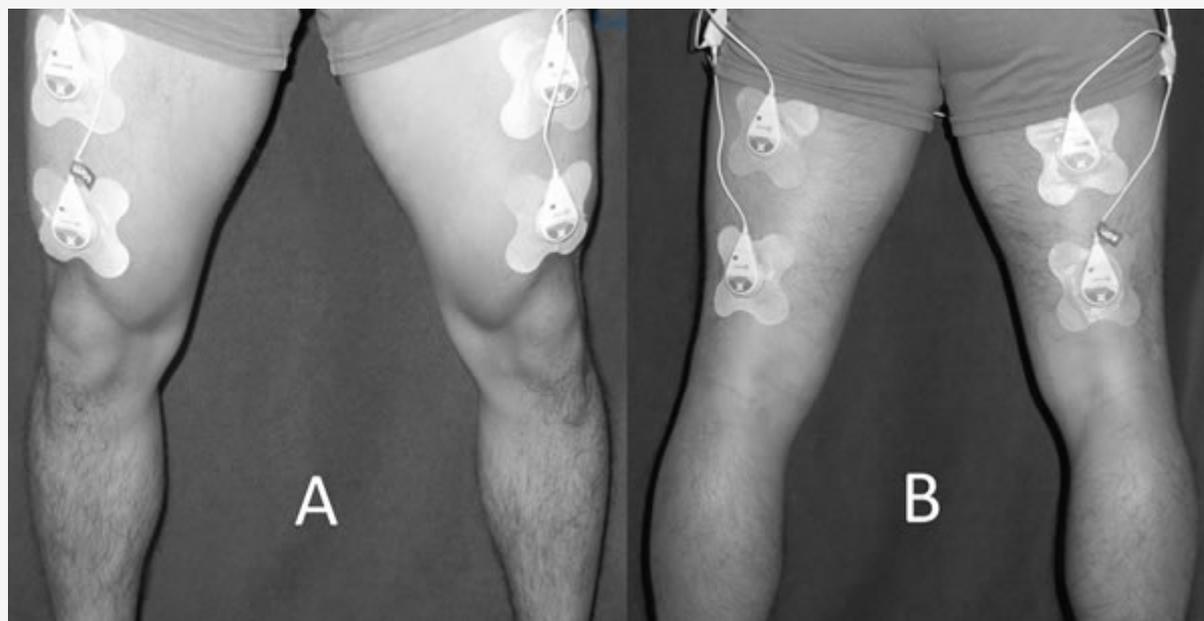


Figura 3. (A) Colocación del Dispositivo en los Cuádriceps. (B) Colocación del Dispositivo en los Isquiotibiales.

Una vez que los parches se adherían a la piel, se unió a cada parche un sistema para administrar un tratamiento activo o

simulado. Se activaron los dispositivos y se pidió a los sujetos que descansaran en silencio en posición supina para evitar la generación de lactato durante un período de calentamiento de 1 h antes de la prueba. En la condición activa, el ultrasonido se administró a una frecuencia de 3 MHz y a una intensidad de 0,132 w·cm⁻² (Figura 1), mientras que el tratamiento simulado no aplicó ultrasonido. Los controladores de potencia y los cabezales del transductor fueron codificados por una parte independiente que no participó en el proceso de recolección de datos para apoyar el diseño de estudio doble-cego. Los investigadores solo fueron no-cegados al nivel de la variable independiente después de que todos los datos se recogieron en todos los sujetos.

Protocolo de Entrenamiento con Peso de Circuito

Cada sujeto completó 2 series de los siguientes 5 ejercicios de entrenamiento de resistencia a una intensidad del 70% de su 1-RM: (a) Estocadas; (b) Flexión de isquiotibiales sentado; (c) Sentadillas de Smith; (d) Extensión de cuádriceps sentado; y (e) Press de pierna. Cada ejercicio se realizó como se describe en la sección de medición de 1-RM en un entorno de metrónomo de 48 pulsos·min⁻¹ durante 30 segundos con 15 segundos de descanso entre ejercicios y 30 segundos de descanso entre los 2 circuitos. Las pruebas piloto demostraron que este régimen elevaba el lactato sanguíneo a aproximadamente 10 mmol·L⁻¹.

Medición del Lactato Sanguíneo

El lactato se midió en los siguientes puntos de tiempo: (a) Punto de partida (PP) (antes de la aplicación de tratamiento activo o simulado); (b) antes del entrenamiento con peso de circuito (pre); (c) inmediatamente después del entrenamiento con peso de circuito (post; también el tiempo 0); y (d) a los 2, 5, 10, 20, 40 y 60 minutos de recuperación. Todas las mediciones se realizaron con los sujetos en decúbito supino sobre una camilla. Los sujetos permanecieron en reposo para evitar que la recuperación activa interfiriera con los resultados. En cada punto de tiempo, se recogieron dos muestras de 25 µl de sangre de un dedo y se analizaron inmediatamente (YSI 1500 Sport Lactate Analyzer, Yellow Springs, Ohio) para la concentración de lactato sanguíneo (mmol·L⁻¹). El promedio de 2 muestras se registró como concentración de lactato para cada punto de tiempo.

Análisis Estadísticos

Todos los datos se presentan como media \pm desviación estándar a menos que se indique explícitamente lo contrario. El nivel alfa se estableció en $P \leq 0,05$. Se utilizó un ANOVA de medidas repetidas con el tiempo y el tratamiento dentro de los factores de los sujetos para comparar las concentraciones de lactato sanguíneo para las condiciones activas versus las simuladas. Un *t*-test apareado comparó los valores del área bajo la curva (ABC) basales-normalizados a los 60 minutos en la condición activa versus la condición simulada. El ABC se determinó utilizando la integración numérica con la regla trapezoidal. El ABC proporciona una descripción general de los cambios en el nivel de lactato durante un período de tiempo definido. Para comparar la condición activa versus la condición simulada para las tres medidas de rendimiento muscular (trabajo total, torque máximo y potencia media) en la pierna dominante se utilizó un *t*-test unilateral de pares emparejados. Las velocidades de movimiento fueron 90° y 180 grados·seg⁻¹. Sobre la base de las desviaciones estándar observadas en estudios previos de remoción de lactato post-ejercicio (10,13), se realizó un tamaño de muestra de 16 al 80% para observar una diferencia de 0,978 mmol·L⁻¹.

RESULTADOS

Concentración de Lactato Sanguíneo

Los niveles basales promedio de lactato fueron similares para ambos grupos de tratamiento. Los niveles de lactato sanguíneo pre-ejercicio fueron significativamente más bajos en la condición activa en comparación con el tratamiento simulado. En cada punto de tiempo post-ejercicio, la concentración de lactato observada en la sangre se redujo significativamente con el dispositivo de tratamiento LIWU activo en comparación con el tratamiento simulado (véase la figura 4).

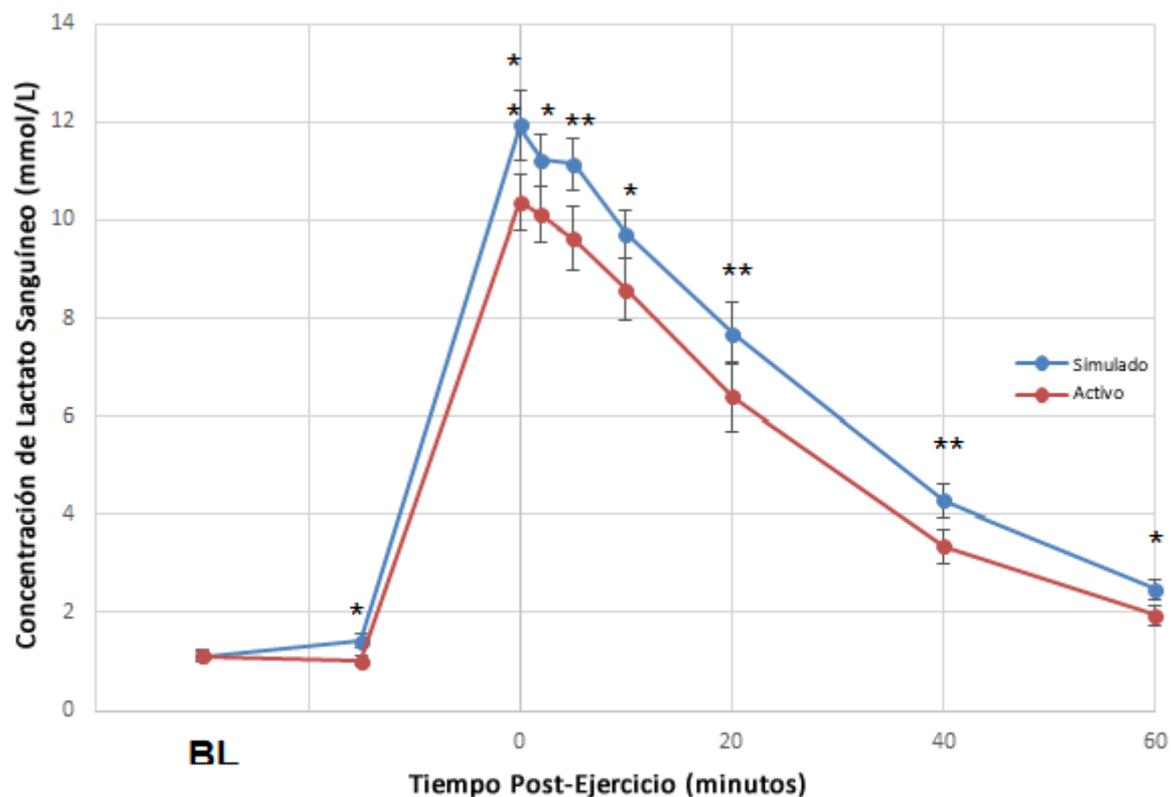


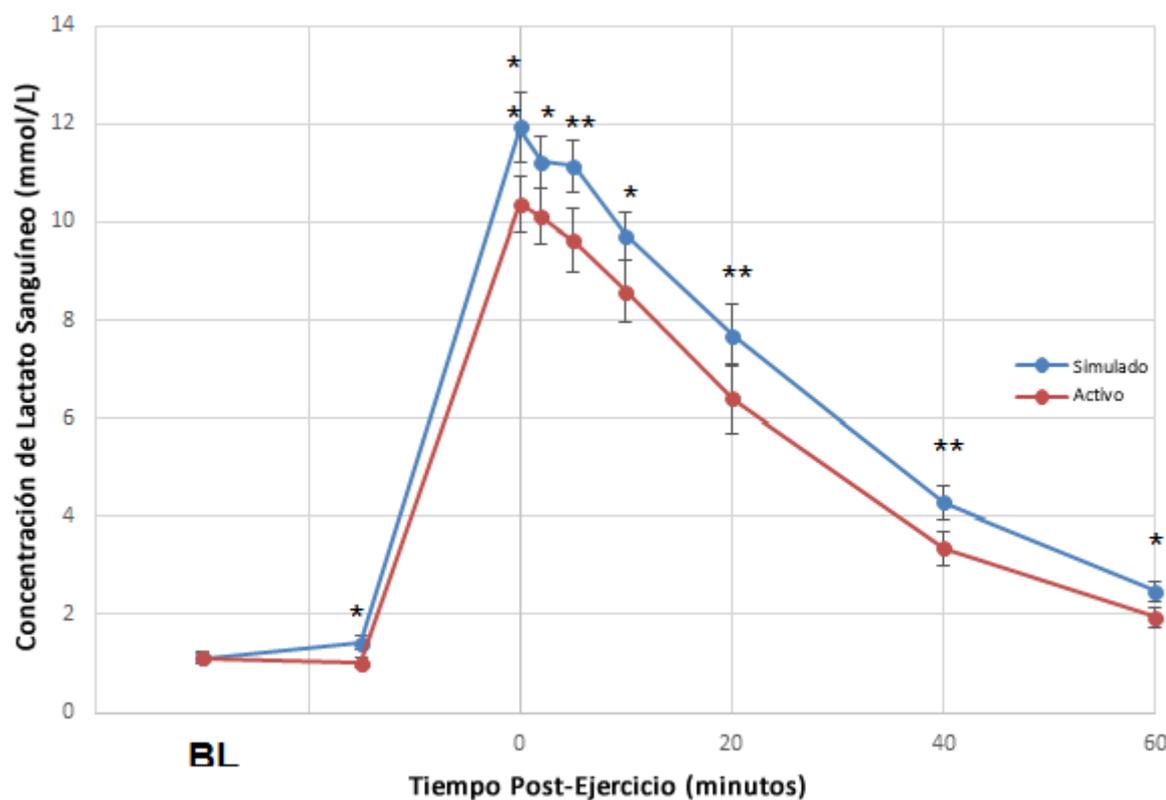
Figura 4. Concentraciones de Lactato Sanguíneo. Los valores presentados son medias \pm DE. (PP) indica el punto de partida y (Pre) indica una medición pre-ejercicio. *Indica una diferencia significativa ($P < 0,05$) entre las condiciones activa y simulada. **Indica una diferencia significativa ($P < 0,01$) entre las condiciones activa y simulada.

Se realizó una evaluación global del nivel total de lactato sanguíneo para el intervalo de 1 hora post-ejercicio calculando el (ABC). El ABC fue significativamente menor ($P = 0,002$) en la condición activa de LIWU ($255,8 \pm 120,0$ mmol \cdot min \cdot L $^{-1}$) en comparación con la condición simulada ($318,5 \pm 86,0$ mmol \cdot min \cdot L $^{-1}$). Esta diferencia refleja una disminución promedio del 20% en el nivel total de lactato sanguíneo durante la hora de recuperación.

Rendimiento Muscular Post-Ejercicio

Los 16 sujetos completaron con éxito la prueba isocinética después de que se completó la evaluación del lactato sanguíneo. El *t*-test de pares emparejados para las variables de rendimiento muscular indicó una diferencia significativa entre las condiciones activa y simulada para las tres variables. Las variables que presentaron la diferencia fueron el torque máximo a 90 grados \cdot seg $^{-1}$ en extensión ($P = 0,031$), el trabajo total a 90 grados \cdot seg $^{-1}$ en extensión ($P = 0,027$) y la potencia media a 90 grados \cdot seg $^{-1}$ en extensión ($P = 0,024$). Ninguna de las otras variables de rendimiento muscular mostró una diferencia significativa entre las condiciones activa y simulada.

Tabla 2. Valores-P de Pares Emparejados para Medidas de Rendimiento Muscular Isocinético. *Valor $P < 0,05$



DISCUSIÓN

Esta fue la primera investigación para estudiar la influencia de un dispositivo LIWU en el lactato sanguíneo post-ejercicio y el rendimiento muscular posterior. Los resultados principales demostraron que después de un episodio de fatiga de entrenamiento con peso de circuito, el dispositivo LIWU bajó los valores de lactato post-ejercicio en todos los puntos de tiempo de recuperación, redujo el ABC general de lactato durante la recuperación, mejoró el posterior rendimiento muscular de la extensión de rodilla de baja velocidad, y no afectó las mediciones de la extensión de rodilla de rápida velocidad, ni las mediciones de la flexión de rodilla a cualquier velocidad de movimiento. Por lo tanto, nuestra hipótesis se apoyó parcialmente en que el LIWU redujo las concentraciones de lactato sanguíneo, y mostró una mejora en tres de las doce medidas de rendimiento muscular del miembro inferior.

Recuperación de los Niveles de Lactato

Varias estrategias post-ejercicio como la recuperación activa, el estiramiento y el masaje se han explorado en un intento de mejorar el posterior rendimiento del ejercicio. Un estudio reciente de Ce et al. (6) comparó la dinámica del lactato después de un ejercicio de alta intensidad seguido de 10 minutos de cinco intervenciones de recuperación diferentes: recuperación activa, recuperación pasiva, estiramiento y dos tipos de masaje. La técnica de recuperación más eficaz para acelerar la remoción de lactato fue la recuperación activa. Basado en un modelo de desintegración mono-exponencial, 10 minutos de recuperación activa causaron aproximadamente una reducción de 16,5% en el ABC de lactato durante el transcurso de 1 hora en comparación con la recuperación pasiva. Para el trabajo actual, el LIWU redujo el ABC de lactato en un 20%. El tiempo de recuperación podría ser un factor importante que influye en la reducción del lactato post-ejercicio. Si Ce et al. (6) hubieran utilizado un intervalo de recuperación más largo, es posible que la reducción en ABC podría haber sido mayor y más similar a los resultados actuales. Además de la duración, el momento de la intervención de recuperación podría haber influido en el resultado de estos estudios. La intervención de Ce et al. (6) se aplicó exclusivamente después del ejercicio, en comparación con el trabajo actual, donde se utilizó el LIWU antes, durante y después del ejercicio. Mondero y Donne (16) examinaron el rendimiento del cronometraje en bicicleta y los niveles de lactato después de la recuperación activa, la recuperación pasiva, el masaje y una combinación de masaje y recuperación activa. El método de recuperación activa fue el más eficiente en la reducción del lactato y los autores especularon que los posibles mecanismos de mejora

eran un aumento en el flujo sanguíneo local y/o un aumento en la síntesis de glucógeno muscular.

El estiramiento también se ha propuesto como una estrategia de recuperación post-ejercicio. Miladi et al. (15) examinaron la efectividad del estiramiento pasivo, activo y dinámico en las respuestas de lactato sanguíneo después de ejercicio supra-máximo. Informaron que el estiramiento dinámico entre episodios de intervalos de alta intensidad redujo los niveles de lactato en comparación con la recuperación pasiva (15). En el estudio anteriormente descrito por Ce et al. (6), el estiramiento estático no logró reducir los niveles de lactato en comparación con la recuperación pasiva. Se podría especular que el estiramiento dinámico mantuvo el flujo sanguíneo muscular, mientras que el estiramiento estático redujo el flujo y el potencial para la reducción del lactato. La investigación actual proporciona una fuerte evidencia de que el LIWU reduce el lactato sanguíneo post-ejercicio. Junto con las investigaciones sobre el estiramiento antes mencionadas por Ce et al. (6) y Miladi et al. (15), es posible que la reducción de los niveles de lactato observada en el presente estudio con el dispositivo LIWU sea una función de un flujo sanguíneo elevado.

Varios estudios (6,12,16) han investigado el uso del masaje como método de recuperación del ejercicio. Aunque las investigaciones usaron diferentes protocolos para producir altos niveles de lactato sanguíneo, el uso de masajes (profundos o superficiales) resultó en mayores niveles de lactato post-tratamiento en comparación con los métodos de recuperación activa. Si bien se piensa que tanto la recuperación activa como las técnicas de masaje específicas producen aumentos en el flujo sanguíneo del músculo esquelético y, por lo tanto, reducciones en los niveles de lactato sanguíneo, la recuperación activa fue más eficaz. Aunque el presente estudio indica que el uso de LIWU dio como resultado niveles de lactato de recuperación reducidos en comparación con el dispositivo simulado, el estudio no comparó directamente el LIWU con la recuperación activa.

Mediciones Isocinéticas del Rendimiento Muscular

Las diferencias observadas para los ejercicios de extensión de 90 grados-seg-1 estaban presentes entre los valores de torque máximo, trabajo total y potencia media. Ninguna de las variables evaluadas a 180 grados-seg-1 o para flexión de rodilla indicó diferencias entre los grupos de tratamiento. Otros estudios (6,12,15,16) han investigado los efectos de diversos métodos de tratamiento (como la recuperación activa, el estiramiento y el masaje) sobre el rendimiento muscular después de protocolos de fatiga muscular. Las conclusiones de estos estudios han sido variadas. Sin embargo, el consenso general apoya la idea de que la recuperación activa puede ser beneficiosa para el rendimiento muscular después de la fatiga (14). Uno de los principales mecanismos por los que la recuperación activa mejora el rendimiento muscular es a través del aumento del flujo sanguíneo a los músculos. La fatiga durante el ejercicio se acompaña de una disminución de la actividad electromiográfica del músculo, lo que puede atribuirse a una insuficiencia de suministro de sangre muscular (14,16). Una investigación de Zarrouck et al. (21) examinó el efecto de la electroestimulación (EMS) sobre el torque máximo isocinético en los extensores de la rodilla después de la fatiga. La modalidad de tratamiento con EMS ha ganado popularidad para el entrenamiento de la fuerza. Se informa que mejora el flujo sanguíneo muscular al disminuir la resistencia periférica. La investigación indica que la EMS es superior a la recuperación activa como a la pasiva en la reducción de la fatiga muscular en los extensores de la rodilla. Zarrouck et al. (21) concluyen que "la menor cantidad de fatiga informada con la recuperación de EMS podría explicarse por el hecho de que la estimulación eléctrica específica aumenta el flujo sanguíneo regional. Por lo tanto, el aumento del flujo sanguíneo podría mejorar el suministro de oxígeno y el flujo de sustancias nocivas y, en consecuencia, mejorar la recuperación"(21).

Además del aumento del flujo sanguíneo, otros factores que pueden contribuir al rendimiento muscular son el aumento de la temperatura corporal, la elasticidad de los músculos y la actividad neuronal (7). Estos factores se han relacionado con los efectos térmicos o no térmicos del ultrasonido terapéutico continuo. Sin embargo, la investigación actual no estudió mecanismos específicos de acción y, por lo tanto, todos los anteriores son contribuyentes potenciales.

Curiosamente, sólo los ejercicios de extensión a 90 grados-seg-1 produjeron hallazgos significativos en nuestro estudio. Si el aumento del flujo sanguíneo es el principal mecanismo de cambio, el impacto de la aplicación del LIWU puede ser más grande en un grupo muscular más voluminoso, como el cuádriceps, en comparación con el grupo relativamente más pequeño de los músculos isquiotibiales. El área superficial significativa y la vascularización que acompaña al gran grupo muscular cuádriceps pueden exacerbar los efectos térmicos del ultrasonido portátil. Con respecto a las velocidades angulares isocinéticas, 90 grados-seg-1 se considera una velocidad relativamente lenta, mientras que 180 grados-seg-1 es más una velocidad moderada a rápida. Las mejoras experimentadas en el presente estudio a 90 grados-seg-1 y no a 180 grados-seg-1 son similares a los hallazgos reportados por Analan et al. (1). En su estudio, investigaron los efectos del ultrasonido terapéutico sobre la fuerza de los rotadores de hombro de los pacientes con enfermedad del manguito rotador. Encontraron que el torque máximo isocinético mejoró en los grupos de ultrasonido y de simulación sólo a 60 grados-seg-1 y no a 180 grados-seg-1. Este resultado es similar a nuestros hallazgos de mejora sólo a la velocidad relativamente lenta de 90 grados-seg-1. Analan et al. (1) indican que el componente de baja velocidad angular de la evaluación isocinética es típicamente el más incómodo y difícil de completar para los pacientes. Esta puede ser una explicación viable en sujetos con dolor de manguito rotador, pero puede no ser particularmente relevante para los sujetos sanos en el presente estudio.

Otra investigación que muestra efectos dispares en el rendimiento de los músculos isquiotibiales versus el músculo cuádriceps informó un mayor aumento de la fuerza en los cuádriceps cuando se compara con los isquiotibiales después de un protocolo de calentamiento (7). El estudio también encontró que el protocolo de calentamiento que utiliza curls concéntricos de isquiotibiales no mostró tanta mejoría en la fuerza de isquiotibiales en comparación con los que utilizan ejercicios de isquiotibiales más funcionales. El ejercicio de isquiotibiales incluido en el estudio actual utilizó una contracción concéntrica de isquiotibiales. Es factible que el dispositivo de LIWU tuviera un mecanismo de acción similar a un protocolo de calentamiento, y que esto puede ayudar a explicar el aumento observado en el rendimiento del cuádriceps sin una mejora acompañante de los isquiotibiales.

CONCLUSIONES

Si bien la investigación actual apoya que el LIWU puede reducir la recuperación del lactato sanguíneo y algunas medidas de rendimiento muscular posterior, el mecanismo de acción no se estudió. La vasodilatación inducida por la temperatura que resulta en un aumento del flujo sanguíneo, una mayor oxigenación muscular y una transmisión acústica/cavitación estable son todos mecanismos posibles de acción para el LIWU que merecen una investigación adicional. Un estudio reciente de Borne et al. (3) midió el flujo sanguíneo de los miembros durante la recuperación del ejercicio. En ese estudio hubo una correlación positiva entre un aumento en el flujo sanguíneo y la recuperación del rendimiento, pero el aumento en el flujo sanguíneo de las extremidades no estaba relacionado con un cambio en los niveles de lactato sanguíneo. Sin embargo, el flujo sanguíneo de la extremidad se midió en la pierna y no en los músculos cuádriceps, que suelen ser dominantes en muchos ejercicios de las extremidades inferiores. Sería informativo medir el flujo sanguíneo en los grupos musculares activos mientras se comparan las intervenciones de recuperación.

La investigación actual proporcionó el LIWU durante una hora antes del ejercicio fatigante, durante el ejercicio, y durante la recuperación. En el futuro, sería útil identificar si esta duración de la exposición es necesaria, o si un protocolo de aplicación de ultrasonido más corto podría producir un resultado similar. Por último, debe reconocerse que este estudio no comparó directamente el LIWU con otras intervenciones de recuperación tales como ejercicio de baja intensidad, masaje o estiramiento. Una comparación de estos diversos enfoques dentro del mismo experimento limitaría la variabilidad procesal entre diferentes investigaciones y permitiría una comparación más directa entre estas técnicas.

Aplicación Práctica

El LIWU puede usarse para reducir los niveles de lactato después de un ejercicio anaeróbico de corta duración. Esto puede conducir a una mejora en algunos, pero no en todos los marcadores del rendimiento de los músculos de los miembros inferiores.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por ZetrOZ Systems, LLC. Los autores desean agradecer a Theresa Rakiewicz, Connor Beesaw y Lisa Gaul por su asistencia en el proceso de recopilación de datos. El autor Lewis reconoce que es empleado de ZetrOZ Systems, LLC, el fabricante del dispositivo de intervención utilizado en este ensayo.

Dirección de correo: Craig Mattern, PhD, The College at Brockport – SUNY, Department of Kinesiology, Sport Studies and Physical Education, 350 New Campus Drive, Brockport, NY 14420, Email: cmattern@brockport.edu

REFERENCIAS

1. Analan PD, Leblebi B, Adam M. (2015). Effects of therapeutic ultrasound and exercise on pain, function, and isokinetic shoulder rotator strength of patients with rotator cuff disease. *J Phys Ther Sci.* 2015;27:3113-3117.
2. Beam WC, Adams GM. (2014). *Exercise Physiology Laboratory Manual. (7th Edition).* New York, NY: McGraw Hill
3. Borne R, Hauswirth C, Bieuzen F. (2017). Relationship between blood flow and performance recovery: A randomized, placebo-controlled study. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12: 152-160.
4. Brooks GA, Fahey TD, Baldwin KM. (2005). *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications.* Boston, MA: McGraw-

Hill

5. Brzycki M. (1993). Strength Testing - Predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *JOPERD*. 1993;64:88-90.
6. Ce E, Limonta E, Maggioni MA, Rampichini S, Veicsteinas A, Esposito F. (2013). Stretching and deep and superficial massage do not influence blood lactate levels after heavy-intensity cycle exercise. *J Sports Sciences*. 2013;31:856-866.
7. Daneshjoo A, Rahnama N, Mokhtar AH, Yusof A. (2013). Effectiveness of injury prevention programs on developing quadriceps and hamstrings strength of young male professional soccer players. *J Human Kinetics*. 2013;39:115-125.
8. Draper DO, Castel JC, Castel D. (1995). Rate of temperature increase in human muscle during 1 MHz and 3 MHz continuous ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1995; 22:142-150.
9. Ebenbichler GR, Erdogmus CB, Resch KL, Funovics MA, Kainberger F, Barisani G, Aringer M, Nicolakis P, Wiesinger GF, Baghestanian M, Preisinger E, Weinstabl R, Fialka-Moser V. (1999). Ultrasound therapy for calcific tendinitis of the shoulder. *N Engl Med*. 1999;340:1533-1538.
10. Engel FA, Sperlich B, Stockinger C, Hartel S, Bos K, Holmberg HC. (2015). The kinetics of blood lactate in boys during and following a single and repeated all-out sprints of cycling are different than in men. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2015;40:623-631.
11. Lewis GK, Langer MD, Henderson CR, Ortiz R. (2013). Design and evaluation of a wearable self-applied therapeutic ultrasound device for chronic myofascial pain. *Ultrasound Med Biol*. 2013;39:1429-1439.
12. Martin NA, Zoeller RF, Robertson RJ, Lephart SM. (1998). The comparative effects of sports massage, active recovery, and rest in promoting blood lactate clearance after supramaximal leg exercise. *J Athl Train*. 1998;33:30-35.
13. Messonnier L, Freund H, Denis C, Feasson L, Lacour JR. (2006). Effects of training on lactate kinetics parameters and their influence on short high-intensity exercise performance. *Int J Sports Med*. 2006;27:60-66.
14. Mika A, Oleksy L, Kielnar R, WodkaNatkaniec E, Twardowska M, Kaminski K, Malek Z. (2016). Comparison of two different modes of active recovery on muscles performance after fatiguing exercise in mountain canoeist and football players. *PLoS One*. 2016;11(10).
15. Miladi I, Temfemo A, Mandengue SH, Ahmaidi S. (2011). Effect of recovery mode on exercise time to exhaustion, cardiorespiratory responses, and blood lactate after prior, intermittent supramaximal exercise. *J Strength Cond Res*. 2011;25:205-210.
16. Monedero J, Donne B. (2000). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med*. 2000;21:593-597.
17. Morishita K, Karasuno H, Yokoi Y, Morozumi K, Ogihara H, Ito T, Fujiwara T, Fujimoto T, Abe K. (2014). Effects of therapeutic ultrasound on intramuscular blood circulation and oxygen dynamics. *J Jpn Phys Ther Assoc*. 2014;17:1-7.
18. Sapareto SA, Dewey WC. (1984). Thermal dose determination in cancer therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1984;10:787-800.
19. Starkey C. (2013). Therapeutic ultrasound, In: Therapeutic Modalities. Philadelphia, PA: F. A. Davis
20. Wiltshire EV, Poitras V, Pak M, Hong T, Rayner J, Tschakovsky ME. (2010). Massage impairs postexercise muscle blood flow and "lactic acid" removal. *MSSE*. 2010;42:1062-1071.
21. Zarrouck N, Rebai H, Yahia A, Souissi N, Hug F, Dogui M. (2011). Comparison of recovery strategies on maximal force-generating capacity and electromyographic activity level of the knee extensor muscles. *J Athl Train*. 2011;46(4):386-394.

Cita Original

Langer MD, Byrne HK, Henry T, Lewis G, Mattern C. El Efecto del Ultrasonido Portátil de Baja Intensidad en el Lactato Sanguíneo y el Rendimiento Muscular después del Ejercicio de Resistencia de Alta Intensidad. *JEPonline* 2017;20(4):132-146.