

Article

# Comparación de dos Modos Diferentes de Recuperación Activa Sobre el Rendimiento Muscular Después del Ejercicio Fatigante en Piragüistas de Montaña y Jugadores de Fútbol

**Comparison of two Different Modes of Active Recovery On muscles Performance After Fatiguing Exercise in Mountain Canoeist and Football Players**

Anna Mika, Łukasz Oleksy, Renata Kielnar, Ewa Wodka-Natkaniec, Magdalena Twardowska, Kamil Kamiński y Zbigniew Małek

## RESUMEN

### Fundamento

El objetivo de este estudio es evaluar si la aplicación de métodos diferentes de recuperación activa (trabajando el mismo o diferentes grupos musculares de aquellos que están activos durante el ejercicio extenuante) resulta en diferencias significativas en el rendimiento del músculo y si la eficiencia del método de la recuperación activa es dependiente de la actividad deportiva específica (cargas de entrenamiento). **Diseño**

Una prueba de grupos paralelos no-ciegos con medidas repetidas. **Métodos**

Trece piragüistas montañoses y doce jugadores de fútbol participaron en este estudio. Se realizaron mediciones de la actividad bioeléctrica, torque, trabajo y potencia de los músculos oblicuo del vasto externo, oblicuo del vasto interno, y del recto femoral durante tests de entrenamiento isocinético a una velocidad de 90°/s. **Resultados**

La recuperación activa de las piernas en ambos grupos fue eficaz en reducir la fatiga de los músculos evaluados donde una disminución significativa en el índice de fatiga fue observada. El torque pico de los músculos, trabajo y parámetros de la potencia no cambiaron significativamente después de ambos modos de recuperación activa, pero se vio en ambos grupos una disminución significativa después de la recuperación pasiva. **Conclusiones**

Nosotros indicamos que 20 minutos de recuperación activa post-ejercicio involucrando los mismos músculos que eran activos durante el ejercicio fatigante son más eficaces en la recuperación de la fatiga que el ejercicio activo que usa los músculos que no estaban envueltos en el ejercicio. Los ejercicios activos del brazo fueron menos eficaces en ambos grupos, lo que indica una falta de una relación entre los diferentes regímenes de entrenamiento y la parte del cuerpo que se usa principalmente al entrenarse. **Cita:** Mika A, Oleksy Ł, Kielnar R, Wodka-Natkaniec E, Twardowska M, Kamiński K, et al. (2016) Comparison of Two Different Modes of Active Recovery on Muscles Performance after Fatiguing Exercise in Mountain Canoeist and Football Players. PLoS ONE 11(10): e0164216. doi:10.1371/journal.pone.0164216

**Editor:** Antoine Nordez, Universite de Nantes, FRANCE

**Palabras Clave:** recuperación activa, ejercicio extenuante, carga

## ABSTRACT

---

**Background:** The aim of this study is to assess if the application of different methods of active recovery (working the same or different muscle groups from those which were active during fatiguing exercise) results in significant differences in muscle performance and if the efficiency of the active recovery method is dependent upon the specific sport activity (training loads). **Design:** A parallel group non-blinded trial with repeated measurements. **Methods:** Thirteen mountain canoeists and twelve football players participated in this study. Measurements of the bioelectrical activity, torque, work and power of the vastus lateralis oblique, vastus medialis oblique, and rectus femoris muscles were performed during isokinetic tests at a velocity of 90°/s. **Results:** Active legs recovery in both groups was effective in reducing fatigue from evaluated muscles, where a significant decrease in fatigue index was observed. The muscles peak torque, work and power parameters did not change significantly after both modes of active recovery, but in both groups significant decrease was seen after passive recovery. **Conclusions:** We suggest that 20 minutes of post-exercise active recovery involving the same muscles that were active during the fatiguing exercise is more effective in fatigue recovery than active exercise using the muscles that were not involved in the exercise. Active arm exercises were less effective in both groups which indicates a lack of a relationship between the different training regimens and the part of the body which is principally used during training.

**Keywords:** active recovery, fatiguing, exercise, load

## INTRODUCCIÓN

---

La fatiga muscular inducida por ejercicio es definida como la pérdida reversible de fuerza muscular (la contractilidad del músculo) durante un trabajo por más tiempo [1], y puede durar unos minutos, horas, o días. Un amplio rango de métodos de recuperación se usa ahora como partes íntegras de los programas de entrenamiento de atletas de élite para ayudar a lograr un equilibrio óptimo [2,3]. Por lo tanto, es crucial determinar su eficacia y comprobar su uso.

Algunos estudios han explorado estrategias de recuperación que incluyen la recuperación activa [4,5,6], pero hay dudas sobre la influencia de la recuperación activa sobre el rendimiento subsecuente, sobre todo porque en estos estudios hay diferencias metodológicas respecto a la tarea que se usó como criterio del rendimiento.

Varios métodos existen para cuantificar la fatiga neuromuscular en los humanos durante el trabajo muscular [6-9]. La observación continua de la fatiga muscular local durante el rendimiento es posible midiendo la actividad mioeléctrica de músculos específicos usando una electromiografía de superficie (sEMG). Sus ventajas son: no invasiva, monitoreo en tiempo real de la fatiga durante el rendimiento que se correlaciona con los cambios bioquímicos y fisiológicos en los músculos durante la fatiga [10,11].

Como ha sido postulado, la fatiga durante el ejercicio dinámico es acompañada por los cambios en la actividad electromiográfica del músculo que puede ser debido al insuficiente aporte sanguíneo al músculo [6,12]. La amplitud de la señal de EMG durante la actividad del músculo inicialmente aumenta y luego, en cuento los síntomas de fatiga se intensifican, el valor de los parámetros disminuye [10,13,14]. En la fase inicial de la fatiga a nivel periférico, una disminución en la actividad de las unidades motoras puede observarse, lo cual resulta en una disminución gradual en la potencia de la contracción muscular [15]. Para sostener la actividad muscular en el nivel requerido, el sistema nervioso central aumenta la estimulación central de las unidades motoras. Como resultado, la descarga eléctrica en las unidades motoras activas ocurre mucho más y más unidades motoras son activadas, incluyendo las unidades inactivas. Esto lleva a un aumento de la amplitud, y un valor superior del índice de fatiga, que es una curva m+as alta de la línea de regresión que indica mayor nivel de fatiga muscular [14,16,17]. Se han dirigido numerosos estudios para comparar los efectos de la recuperación activa y pasiva [18-21]. El conocimiento actual apoya la superioridad del método de la recuperación activa por encima de la pasiva por remover el lactato durante el ejercicio [18,20,21]. Sin embargo, los efectos de estos modos de

recuperación sobre el rendimiento subsecuente son ambiguos [22]. Por ejemplo, aunque algunos autores han reportado que esa recuperación activa es más eficaz que la recuperación pasiva [4,5], otros no encontraron ninguna diferencia [22,23], o un rendimiento físico mejor después de la recuperación pasiva [19,24]. Como fue supuesto por algunos autores [22], la tasa de eliminación más rápida de la concentración del lactato sanguíneo a través de la recuperación activa es de poca relevancia práctica para muchas disciplinas y puede afectar la adaptación negativamente.

Adicionalmente, se ha reportado que la recuperación post-ejercicio debe ser activa y debe involucrar grupos musculares que permanecieron desafectados de la fatiga [3,25]. Baker y cols. [25] también usaron un tipo de recuperación que se enfocaba en diferentes grupos musculares de aquellos utilizados en el ejercicio, e indicaron que esto puede optimizar la disminución de las concentraciones del lactato sanguíneo. Sin embargo, algunos autores han indicado que la menor concentración de lactato después de la recuperación activa no causó una mejora del rendimiento [3,26,27]. Por lo tanto, se necesitan estudios más extensos usando diferentes tipos de ejercicios de recuperación para confirmar esta hipótesis y determinar si la recuperación activa usando un grupo muscular diferente también puede mejorar el rendimiento.

El objetivo de este estudio fue examinar la eficacia de dos modos de recuperación activa post-ejercicio y la recuperación pasiva para reducir la fatiga. También se examinó si la aplicación de estos métodos de recuperación hace posible observar diferencias significativas en la fuerza y en la actividad bioeléctrica de los músculos evaluados.

El nuevo aspecto de este estudio es la valoración de la eficacia de la recuperación activa usando mismos y diferentes músculos de aquellos que fueron activos durante el ejercicio fatigante. Para diferenciar la eficacia de los modos de recuperación activa que dependen de las características de la carga de entrenamiento, el grupo de estudio incluyó piragüistas de montaña (quienes sobrecargan los músculos del tren superior principalmente) y jugadores de fútbol (quienes sobrecargan los músculos del tren inferior principalmente). El estudio también examinó qué forma de recuperación activa es más eficaz en reducir la fatiga muscular post-ejercicio, y si la efectividad de cualquiera de estas formas de recuperación activa se relaciona al entrenamiento específico de la disciplina deportiva.

En este trabajo, por primera vez, nosotros diferenciamos la efectividad de la recuperación activa de los brazos y de las piernas dependiendo de las características de la disciplina que practican los atletas y qué parte del cuerpo está principalmente sobrecargada durante el entrenamiento.

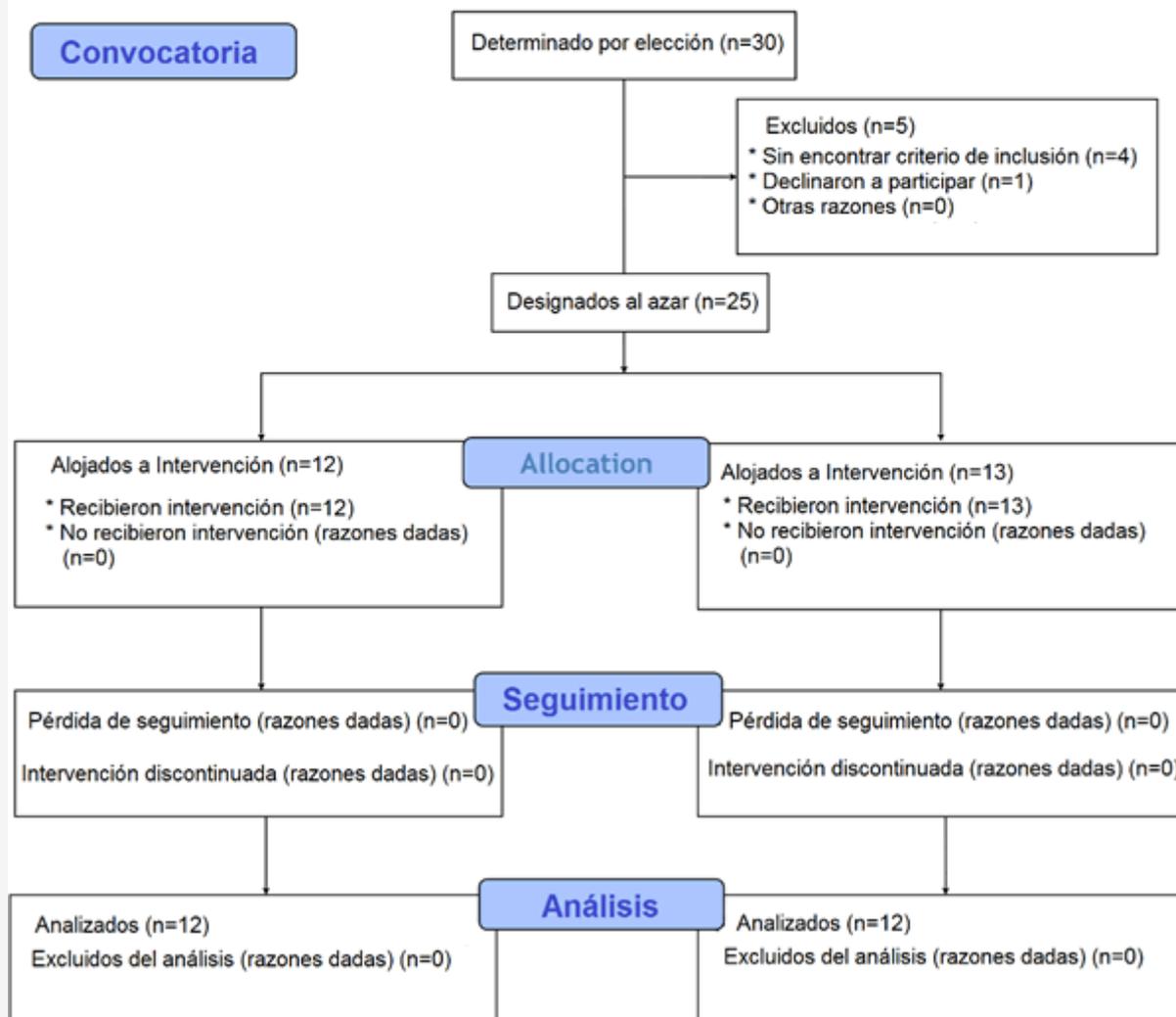
## MATERIALES Y SUJETOS

---

### Participantes

13 piragüistas de montaña varones y 12 jugadores de fútbol varones (edad 24-30 años) participaron en este estudio (Fig. 1). Los atletas pertenecían a un equipo regional, y todos eran sanos, sin lesiones durante el año anterior al estudio. Ellos no realizaron ninguna actividad física de alta intensidad durante 2 días antes de cada visita para evitar los efectos de una fatiga muscular acumulativa. El reclutamiento y seguimiento de los participantes del estudio se realizaron en el laboratorio de biomecánica desde septiembre del 2010 a julio del 2011. Todas las mediciones fueron hechas por un examinador. Los participantes del estudio fueron informados condetalle sobre el protocolo de la investigación y dieron su consentimiento informado por escrito para participar en el estudio. La aprobación del Comité de Ética de la Cámara Médica Regional de Cracovia fue obtenida para este estudio. Este estudio fue registrado en el Registro de pruebas clínicas de Nueva Zelandia y Asutralia (ANZCTR). Número de Registro: ACTRN12616000384459. La prueba fue retrospectivamente registrada, porque no incluía ninguna droga o intervención médica. El tipo de intervención (el ejercicio) nos permite registrar la prueba como un estudio continuado después de la primera matriculación de los participantes. Los datos presentados en el estudio actual son una parte de un proyecto más amplio. Los autores confirman que todas las pruebas continuadas y relacionadas para esta intervención están registradas.

### Diagrama de Flujo CONSORT 2010



**Figura 1.** Diagrama del estudio

## PROCEDIMIENTOS

### Visita pre-test

Los participantes visitaron el laboratorio para familiarizarse con el protocolo para la evaluación isocinética. Se tomaron mediciones del peso corporal y la altura de los sujetos.

Durante esta visita, la velocidad máxima de carrera en cinta ergométrica (Woodway, EE.UU.) a una inclinación del 12% (TV 12%) de cada sujeto, fue evaluada para determinar la intensidad del esfuerzo físico de la prueba (120% con TV 12%)

[19]. La velocidad inicial de la cinta ergométrica era de 5 km/h y era aumentada por 1 km/h cada 2 minutos, y el esfuerzo físico se realizó hasta el agotamiento, o a la negativa de continuar por el sujeto. El 100% era la velocidad al final del esfuerzo cuando el sujeto estaba agotado. De la velocidad máxima de la cinta ergométrica, el 120% fue calculado. El ejercicio fatigante involucró diez carreras en cinta ergométrica, cada una duraba 1 minuto (realizadas a una intensidad del 120% de la velocidad máxima en la cinta ergométrica determinada durante la visita de pre-test) intercaladas con descansos de dos minutos. Durante cada descanso de dos minutos, la cinta ergométrica se detenía y el sujeto descansaba estando de pie sobre la cinta ergométrica. Luego, la cinta ergométrica arrancaba y aceleraba al 120% de la velocidad máxima de la cinta ergométrica. El esfuerzo físico de la prueba duró 30 minutos (10 carreras de un minuto y 10 descansos de 2 minutos). Si el sujeto no podía completar el test a la intensidad requerida, la velocidad era reducida por 0.5 km/h.

## Visita 1,2,3

Las tres visitas subsecuentes evaluaron tres métodos de recuperación muscular después de los ejercicios físicos intensivos.

Cada sesión empezó con una entrada en calor que consistió en un pedaleo durante 5 minutos (Keiser M3, Alemania). Los voluntarios pedalearon a una velocidad cómoda y auto-seleccionada. Todas las mediciones se tomaron del lado dominante (pierna derecha o pierna izquierda). Las mediciones de la actividad bioeléctrica (EMG) de los músculos vasto externo oblicuo (VLO), vasto interno oblicuo (VMO), y recto femoral (RF) fueron realizadas y el torque, trabajo y potencia de los músculos de flexores y extensores de la rodilla durante la evaluación del entrenamiento isocinético a una velocidad de 90°/seg. Las mediciones se realizaron en 3 visitas con intervalos de una semana, y en cada visita antes del ejercicio fatigante, después de ejercitarse y después de 20 minutos en uno de los modos de recuperación (pedaleando en el cicloergómetro, pedaleando en el ergómetro de brazos, o pausa pasiva en una posición de sentado).

## Medición de la fuerza

La medición se llevó a cabo usando un dinamómetro isocinético (Biodex System S4, EE.UU.) en una posición de sentado con la extremidad inferior flexionada en la articulación de la cadera a 90°, con el eje de rotación de la rodilla concordante con el eje anatómico de la articulación. Para impedir los movimientos del tronco durante la medición, los sujetos se ataron con una sujeción estabilizadora [28]. El brazo movable del dinamómetro estaba fijo en el extremo distal de la tibia, proximal al maléolo medial. Esta posición fue registrada para asegurar la misma colocación para todas las 3 sesiones de testeo. La corrección de la gravedad se obtuvo midiendo el torque ejercido en el adaptador de resistencia del dinamómetro por la rodilla relajada, totalmente extendida. El rango total de movimiento (ROM) durante las contracciones isocinéticas fue fijado desde la extensión completa hasta la completa flexión. Los tests consistieron en 10 extensiones y flexiones concéntricas isocinéticas máximas de rodilla a una velocidad angular de 90°/seg [28].

En tanto el brazo del dinamómetro se movía, el participante era animado en forma verbal a realizar al máximo cada contracción a lo largo del ROM completo durante tanto la fase de flexión como de extensión. Todos los procedimientos de la evaluación y el estímulo verbal fueron administrados por el mismo investigador a todos los atletas. El torque, el trabajo y la potencia de los músculos extensores y flexores de la rodilla fueron calculados como el valor promedio de 10 contracciones. Como fue reportado por Larsson y cols. [29,30], la confiabilidad del torque pico era buena y el CCI era entre 0.85-0.98 para la extensión de rodillas y 0.88-0.97 para la flexión de rodillas.

Se registraron mediciones del torque y sEMG simultáneamente y continuamente mientras los participantes realizaban las 10 extensiones de rodillas isocinéticas. Como se ha reportado, la medición de la actividad bioeléctrica del VM, VL, RF durante la flexión y extensión de la articulación de la rodilla en la condición isocinética a una velocidad de 90/seg tiene una reproductibilidad buena (CCI > 0.8) [29,30].

## La medición de la EMG

La actividad bioeléctrica del vasto externo (VL), vasto interno (VM), y recto femoral (RF) se registró según las pautas de SENIAM [31,32]. Antes de la colocación de los electrodos, la piel fue limpiada y desengrasada con alcohol. Los electrodos de superficie (Ag/AgCl) (BIO LEADLOK) con una distancia de 2 cm entre ellos fueron puestos a lo largo de la dirección de las fibras musculares en los músculos VL, VM y RF.

Las señales fueron registradas con una exactitud de 16-bit a una tasa de muestreo de 1500 Hz y se guardaron para un análisis subsecuente usando una unidad Noraxon G2 TeleMyo 2400 (Noraxon, EE.UU.). Las señales de la EMG se filtraron con un filtro Butterworth de paso alto (frecuencia de corte 10 Hz) y un filtro de paso bajo (frecuencia de corte 500 Hz), y luego fueron rectificadas. Como consecuencia, la media de la raíz cuadrada (RMS) del valor de la señal de la EMG fue determinada por encima de una 'ventana' de 300 mseg. Durante las pruebas dinámicas, aproximadamente 10 valores pico fueron calculados durante cada ciclo de flexión-extensión para cada músculo y se usaron como el conjunto de datos para el

análisis de la regresión. La curva calculada se usó como el índice de fatiga [16,17,32]

Los valores de los parámetros evaluados obtenidos antes y después del esfuerzo físico, y después de la recuperación, se compararon separadamente para cada método de recuperación.

El orden de la medición fue como sigue:

1. Entrada en calor
2. Medición de la fuerza y de sEMG antes del esfuerzo físico
3. Test de diez carreras en cinta ergométrica, cada una de un minuto de duración y se realizaron a la intensidad de 120% con una inclinación del 12%, intercalados con descansos de 2 minutos.
4. Medición de la fuerza y de sEMG inmediatamente después de que el esfuerzo físico era completado (medición del nivel de fatiga)
5. Una recuperación de los tres métodos de recuperación muscular fue aplicada inmediatamente después de las mediciones de fuerza y de la EMG. El orden de los 3 métodos de recuperación fue aleatorizado.

La recuperación activa de piernas (RAP)-pedaleo en cicloergómetro a una velocidad de 60 rpm con una carga de 10W durante 20 minutos (Keiser M3, Alemania)

La recuperación activa de brazos (RAB)-pedaleo con brazos en ergómetro de brazos a una velocidad de 60 rpm con una carga de 10W durante 20 minutos (Sci-Fit, EE.UU.) (el trabajo de la extremidad superior apuntó a estimular grupos musculares diferentes de aquellos trabajados durante el esfuerzo físico)

La recuperación pasiva (P)-pausa en una posición de sentado durante 20 minutos.

6. Medición de la fuerza y de sEMG inmediatamente después de que la recuperación era completada (evaluación de la eficacia de la recuperación)

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

---

El análisis estadístico se llevó a cabo usando STATISTICA 10.0 PL. El test ANOVA con medidas repetidas fue usado para determinar la significancia de las diferencias de las variables evaluadas. El *t*-test independiente fue usado para evaluar las diferencias en la altura y peso corporal entre los piragüistas montañeses y los jugadores de fútbol. Se consideró que las diferencias eran estadísticamente significativas si el nivel de las similitudes de la prueba era inferior que el nivel asumido de significación ( $p < 0,05$ ). Adicionalmente los datos se evaluaron para relevancia práctica usando un tamaño del efecto *d* Cohen. Un análisis de la potencia *t*-test dos en dos de la influencia del ejercicio determinó que al menos se exigieron 9 sujetos para obtener una potencia de 0.8 a un nivel bilateral de 0.05 con el tamaño de efecto  $d = 0.8$ . Este análisis fue en base a los datos derivados de la literatura previa [21,23,28,33].

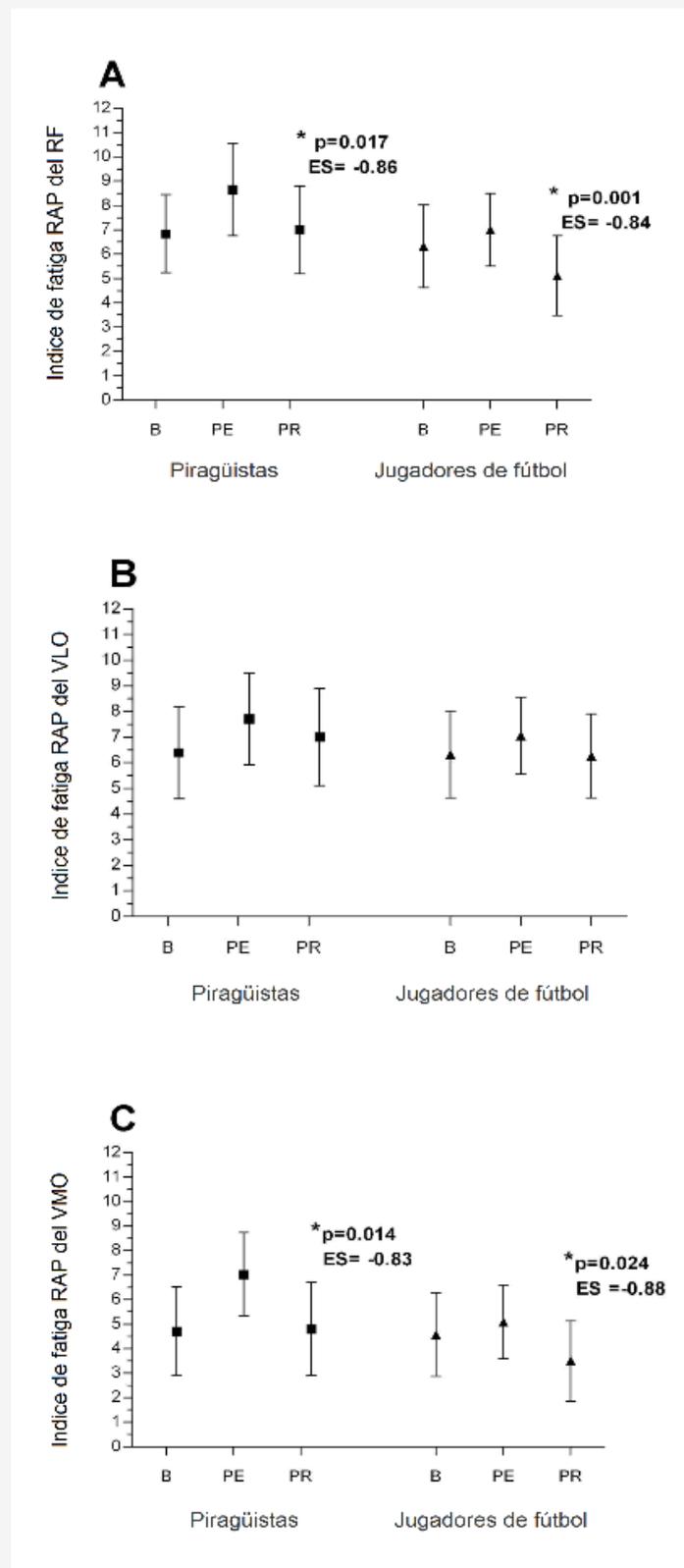
## RESULTADOS

---

No hubo diferencias significativas en la altura y el peso corporal entre los piragüistas montañeses y los jugadores de fútbol ( $175.6 \pm 3.8$  vs  $179.3 \pm 4.2$  cm;  $78.3 \pm 6.49$  vs.  $75.8 \pm 6.2$  kg) ( $p > 0.05$ ).

### Mediciones de sEMG

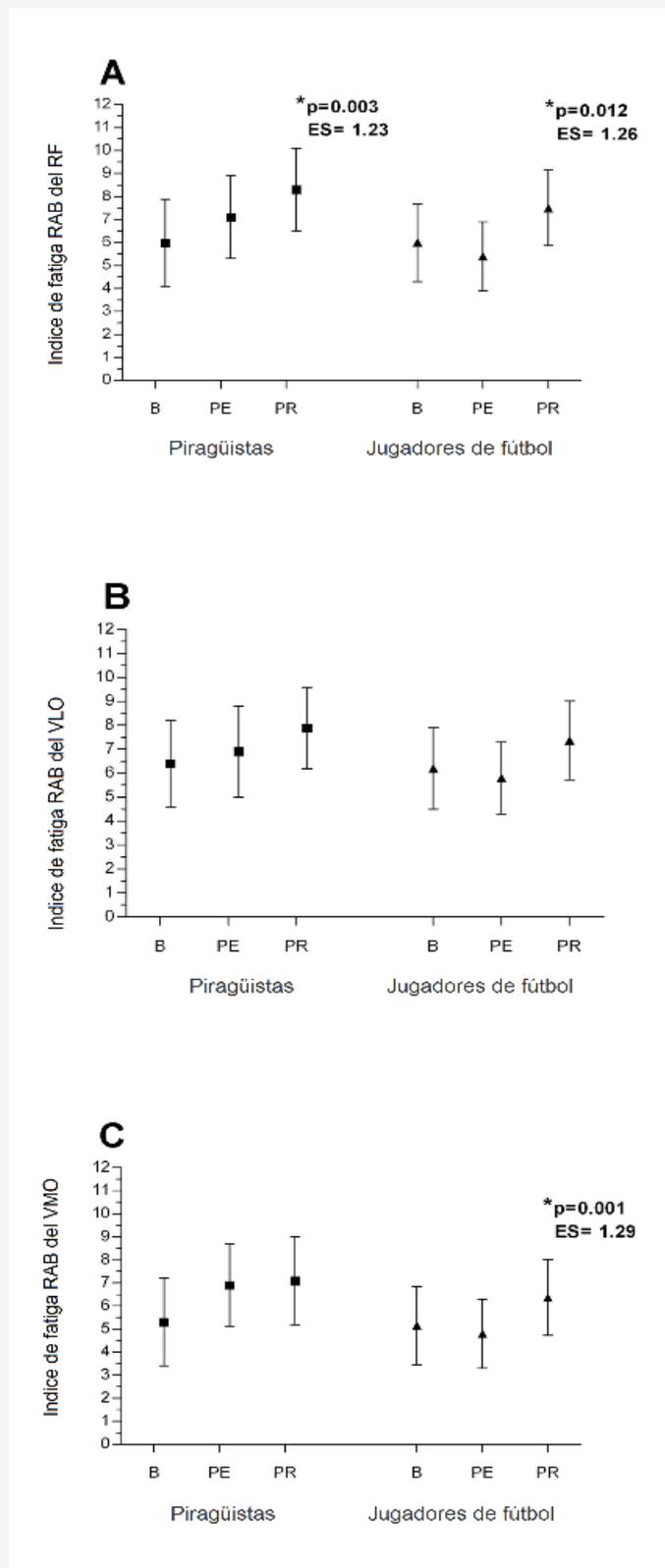
En los piragüistas montañeses que corrieron en la cinta ergométrica produjeron una fatiga superior vista como un sEMG superior de índice de fatiga comparado con la línea de base. En los jugadores de fútbol, el mismo esfuerzo produjo un índice de fatiga inferior que en los piragüistas, pero en ambos grupos los cambios después del esfuerzo físico comparado con la línea de base no fueron significativos (Figs. 2 y 3 y 4) ( $p > 0.05$ )



**Figura 2.**

**Efectos de la recuperación activa de piernas sobre la actividad bioeléctrica del RF (A), VLO (B), VMO (C).**

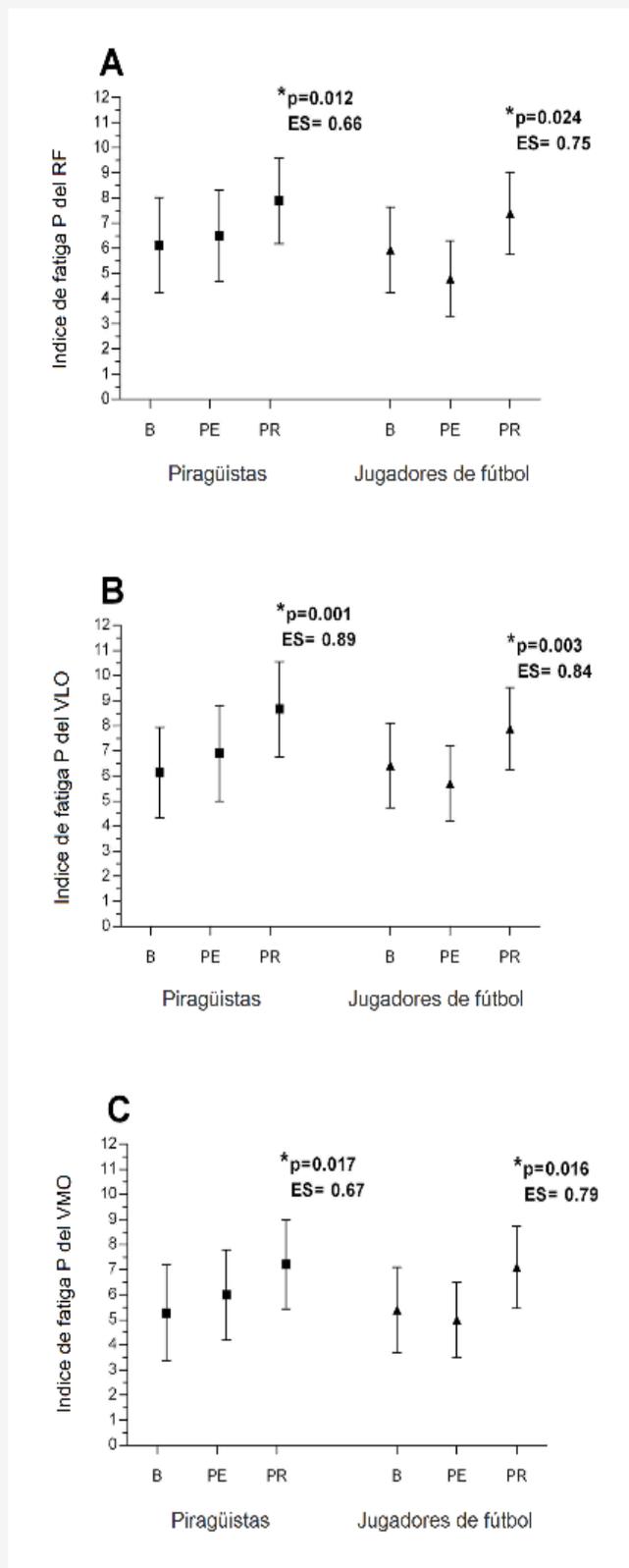
\* valor  $p$  significativamente diferente; ES: tamaño de efecto; RAP: recuperación activa de las piernas; RF - Recto femoral; VLO: Oblicuo de Vasto Lateral; VMO: Oblicuo del Vasto interno; B: línea de base; PE: post-ejercicio; PR, recuperación post-ejercicio.



**Figura 3.**

**Efectos de la recuperación activa de los brazos sobre la actividad bioeléctrica del RF (A), VLO (B), VMO (C)**

\* valor  $p$  significativamente diferente; ES: tamaño de efecto; RAB: recuperación activa de brazos; RF - Recto femoral; VLO: Oblicuo de Vasto Lateral; VMO: Oblicuo del Vasto interno; B: línea de base; PE: post-ejercicio; PR, recuperación post-ejercicio.



**Figura 4.**

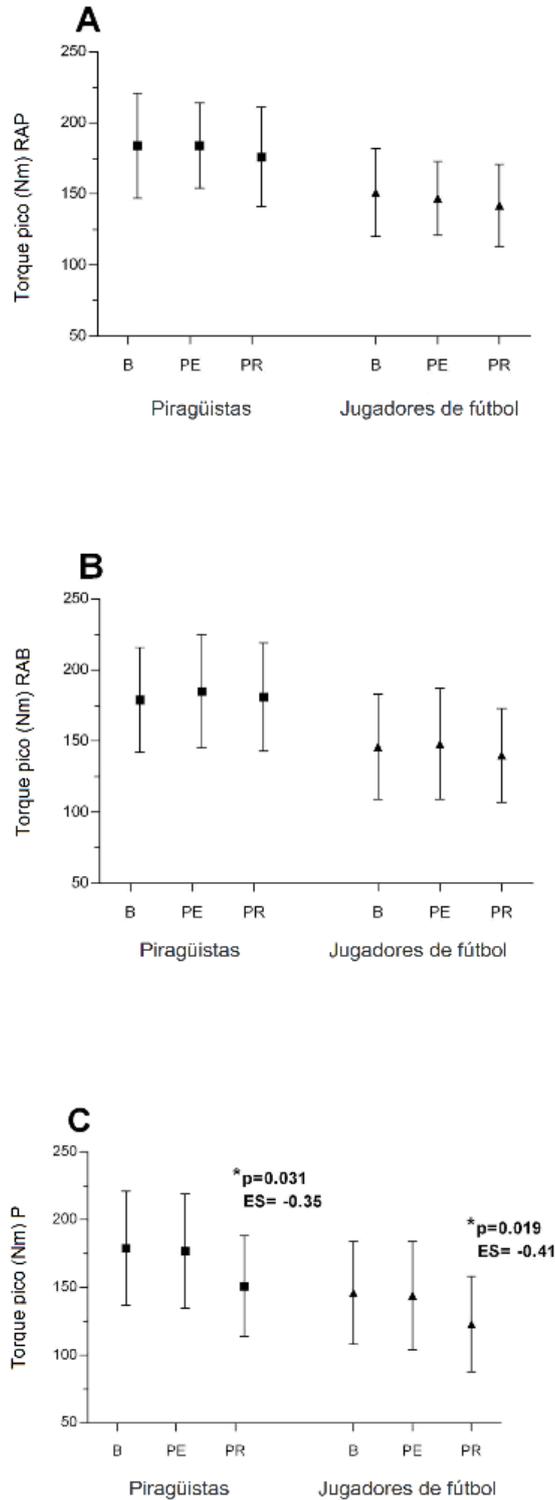
**Efectos de la recuperación pasiva sobre la actividad bioeléctrica del RF (A), VLO (B), VMO (C).**

\* valor *p* significativamente diferente; ES: tamaño de efecto; RP: recuperación pasiva; RF - Recto femoral; VLO: Oblicuo de Vasto Lateral; VMO: Oblicuo del Vasto interno; B: línea de base; PE: post-ejercicio; PR, recuperación post-ejercicio.

Los músculos evaluados se recuperaron suficientemente alcanzando su valor de pre-ejercicio en ambos grupos solamente después de la recuperación activa de piernas (IRAP), donde se observó una disminución significativa en el índice de fatiga comparado al valor post-ejercicio en los músculos RF y VMO (Fig. 2). Después de la recuperación activa de brazos (RAB), un aumento significativo en el índice de fatiga comparado con el valor post-ejercicio fue notado en el RF en ambos grupos, y en el VMO en los jugadores de fútbol (Fig. 3). Un valor superior del índice de fatiga se observó después de la pausa pasiva comparado con post-ejercicio y al valor basal. Este aumento significativo fue notado en ambos grupos (Fig. 4).

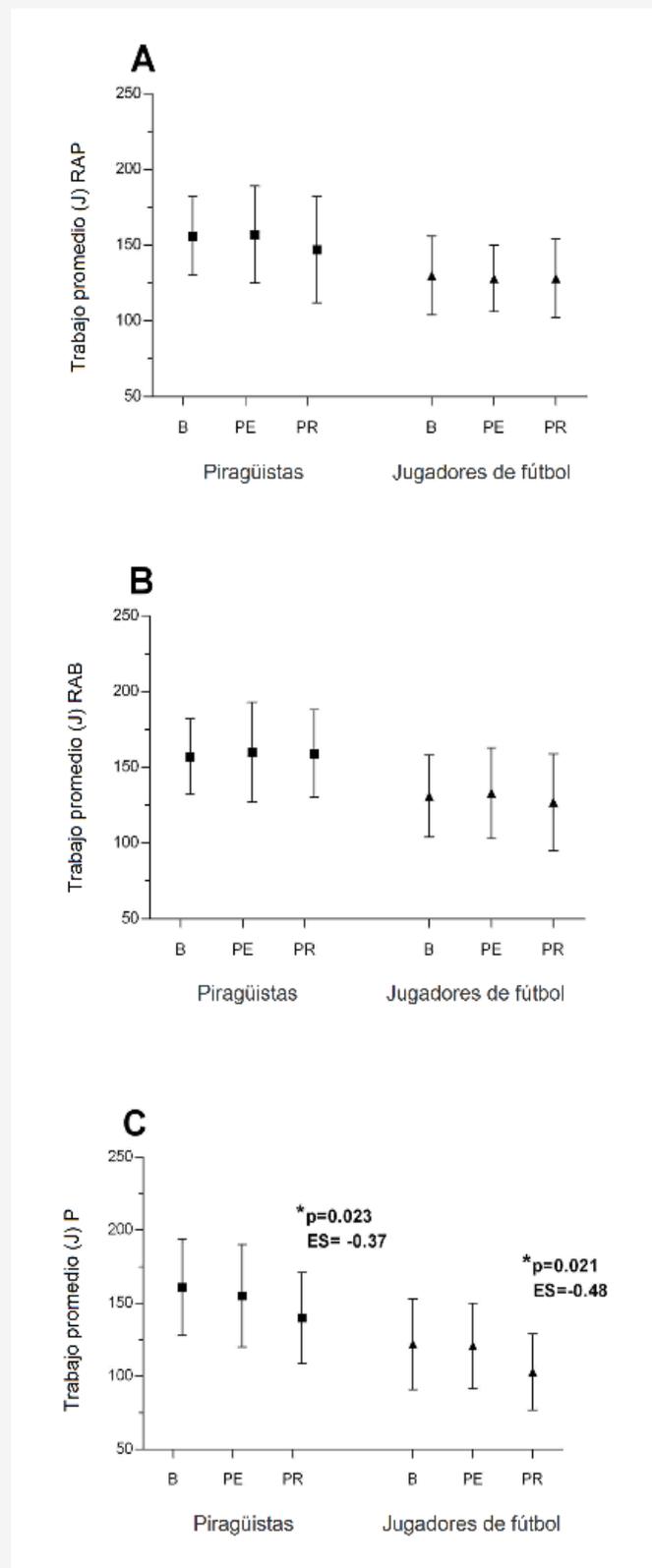
### **Medición de la fuerza.**

Los cambios en los parámetros de la fuerza muscular fueron menores que los cambios en la actividad bioeléctrica de los músculos (Figs. 5 y 6 y 7).



**Figura 5.**

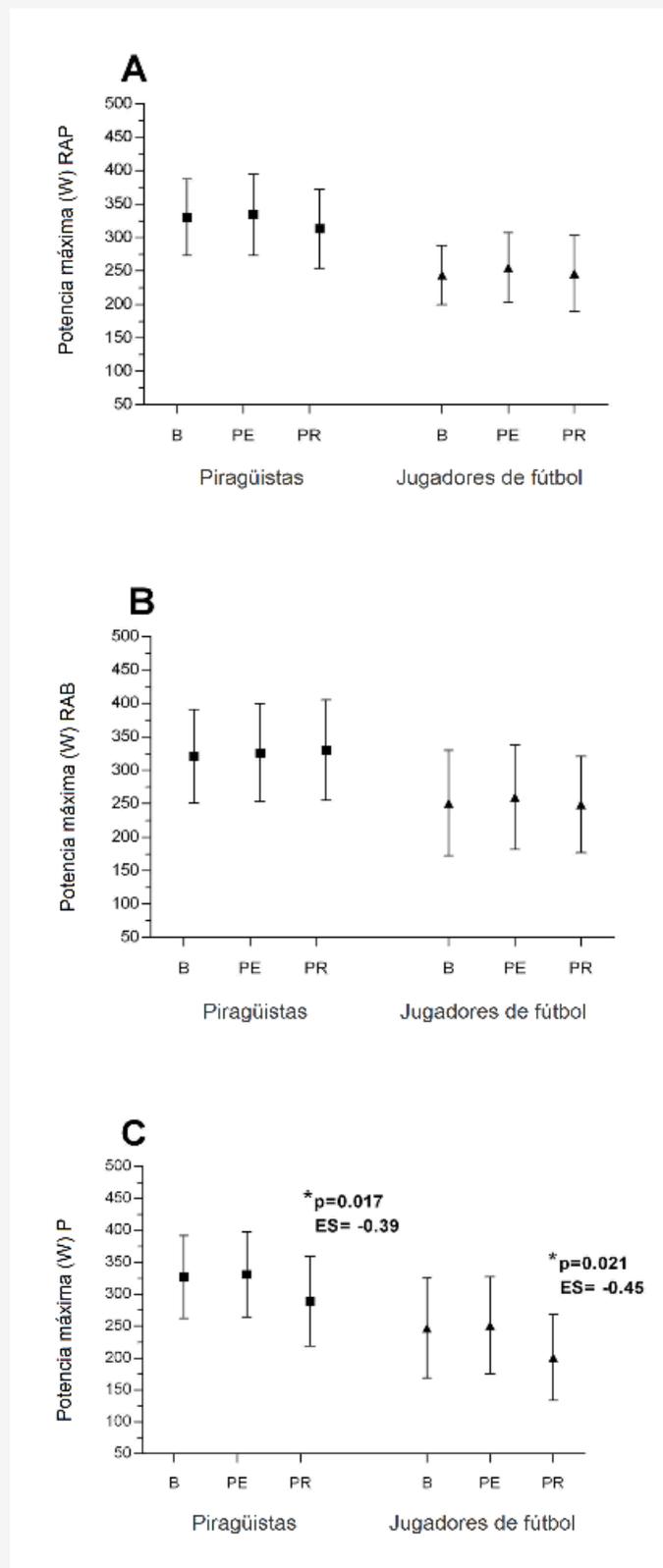
**Efectos de RAP (A), RAB (B) y P (C) en el torque pico de los músculos evaluados.** \* valor  $p$  significativamente diferente; ES: tamaño del efecto; RAP: recuperación activa de piernas; RAB: recuperación activa de brazos; P: recuperación pasiva; B: línea de base; PE: post-ejercicio; PR: post-recuperación.



**Figura 6.**

**Efectos de RAP (A), RAB (B) y P (C) sobre el trabajo promedio de los músculos evaluados.**

\* valor *p* significativamente diferente; ES: tamaño del efecto; RA: recuperación activa de piernas; RAB: recuperación activa de brazos; P: recuperación pasiva; B: línea de base; PE: post-ejercicio; PR: post-recuperación.



**Figura 7.**

**Efectos de RAP (A), RAB (B) y P (C) sobre la potencia máxima de los músculos evaluados.**

\* valor *p* significativamente diferente; ES: tamaño del efecto; RAP: recuperación activa de piernas; RAB: recuperación activa de brazos; P: recuperación pasiva; B: línea de base; PE: post-ejercicio; PR: post-recuperación.

No hubo ningún efecto significativo de la recuperación activa de piernas (RAP) y la recuperación activa de brazos (RAB en el torque pico del músculo (PT) (Fig. 5), trabajo (AW) (Fig 6) y potencia (MP) (Fig 7) ( $p>0.05$ ). Sólo después de la recuperación pasiva (P) en ambos grupos una disminución significativa en el PT, el AW y la MP, fue observada (Figs. 5 y 6 y 7).

## DISCUSIÓN

La información más importante obtenida en este estudio es la observación de que el ejercicio activo moderado de los mismos músculos usados por el ejercicio fatigante, facilita el cambio en los parámetros de la actividad bioeléctrica muscular a su valor de pre-ejercicio durante la recuperación muscular post-ejercicio. El ejercicio activo de los miembros inferiores fue más eficaz en remover la fatiga muscular en ambos grupos evaluados (los piragüistas montañeses y los jugadores de fútbol). El torque pico, el trabajo y la potencia disminuyeron después de la recuperación pasiva en ambos grupos, mientras que después de la recuperación activa de piernas y de brazos el valor de estos parámetros estuvo inalterado comparado a la línea de base. En ambos grupos independientemente de su disciplina de entrenamiento, el ejercicio activo de piernas pedaleando en un ergómetro de bicicleta mejoró la recuperación de la fatiga más eficazmente que cuando se usó la recuperación activa realizándose en un ergómetro de brazos..

Hay algunos datos de que la recuperación activa puede ser una buena estrategia para mejorar el rendimiento [3,18,22,34]. En el presente estudio, la disminución en el índice de fatiga después de la recuperación activa de piernas indica que menos unidades motoras fueron activadas durante el esfuerzo del ejercicio después de la recuperación pasiva. Esto puede indicar que la pausa pasiva no es una opción recomendada para la recuperación del músculo luego del ejercicio fatigante. Una disminución significativa en el torque pico, el trabajo y la potencia después de la recuperación pasiva fue observada en ambos grupos comparado a la línea de base, e indica una influencia desfavorable del descanso pasivo en la recuperación del rendimiento del músculo después de la fatiga. Después de la recuperación activa de las piernas activas y de los brazos, el valor de la fuerza relacionado a los parámetros estuvo inalterado. Los resultados del presente estudio están conformes con la investigación previa [3,18,22,35] que ha demostrado ventajas de la recuperación activa del músculo. Estos resultados están en línea con nuestro estudio previo donde después de la recuperación activa, el valor de la contracción voluntaria promedio muscular era similar a la línea de base, pero después de la pausa pasiva era disminuida significativamente [33].

El valor más alto del índice de fatiga y la disminución en el torque, el trabajo y la potencia después de la pausa pasiva observada en nuestro estudio, puede indicar que después del esfuerzo físico la recuperación pasiva aplicada por encima de 20 minutos no quita los síntomas de la fatiga muscular. La ausencia de diferencias en el índice de fatiga después de la recuperación activa de las piernas comparada al valor basal puede indicar que el ejercicio moderado aplicado después del esfuerzo físico intenso puede acelerar la elevación de los síntomas de la fatiga muscular, y así mantiene la posibilidad para el reclutamiento de una cantidad apropiada de unidades motoras durante el esfuerzo físico subsecuente.

En contraste, algunos autores han reportado que los regímenes de recuperación activa y pasiva tienen la misma influencia en los parámetros obtenidos durante el esfuerzo físico subsecuente [4,18,20,22,23]. La diferencia entre estos reportes puede ser causado tanto por una variedad de gráficas de control del esfuerzo físico de la prueba usada por los autores, como por las diferentes longitudes de tiempo de recuperación examinadas.

Como se indicó previamente, la recuperación activa de piernas puede ser considerada un proceso de recuperación mucho más eficaz que el masaje y el descanso pasivo, particularmente cuando una tasa más rápida de eliminación del lactato es el criterio principal [5,36,37]. El criterio diferente usado para la evaluación del proceso de recuperación empleada en nuestro estudio (análisis de la fuerza muscular y de la EMG) apoya esas observaciones metabólicas.

Se ha indicado que la intensidad del ejercicio durante la recuperación activa puede ser óptima para la tasa de eliminación del lactato y resíntesis de la fosfocreatina [38]. Por lo tanto, las unidades motoras del músculo involucradas en la recuperación activa deben ser óptimas. Si la intensidad del ejercicio es demasiado alta, el costo energético es alto, haciendo que la cantidad de oxígeno sea demasiado baja para la reoxigenación de la hemoglobina. Esto puede explicar por qué una mejora significativa del rendimiento (65-27%) sólo se observó en esos estudios donde la intensidad de la recuperación activa era muy baja (28% del  $VO_{2\text{máx}}$ ) [38,39]. Cuando la intensidad de la recuperación activa era superior (40% del  $VO_{2\text{máx}}$ ), la mejora en el rendimiento era marginal [35]. Por lo tanto, algunos autores han indicado que el nivel óptimo de recuperación del músculo puede obtenerse por una intensidad de trabajo apropiada [38], o por la actividad de grupos músculos diferentes que no se involucraron en el esfuerzo fatigante [3,25]. Baker y cols. [25] realizaron un tipo de recuperación que se enfocó en un grupo muscular diferente que el que se utilizó en el ejercicio, lo cual como ellos supusieron, pudo optimizar el descenso de la concentración del lactato sanguíneo. Tired y cols. [3] también evaluaron a 16 estudiantes gimnásticos varones sanos usando tres modos de recuperación: recuperación activa de piernas, recuperación

activa de brazos y recuperación pasiva. Pero ellos concluyeron que se necesitaban estudios más extensos para confirmar la eficacia del ejercicio de grupos diferentes de músculos en la post-recuperación de la fatiga y para determinar si la recuperación activa usando grupos musculares diferentes también puede mejorar el rendimiento.

Investigaciones en la misma área encontraron que si otro grupo muscular es activado después de un ejercicio físico, el trabajo realizado después de una recuperación activa es mayor que después de una recuperación pasiva [28,40]. Sin embargo, también fue demostrado que cuando el lactato es producido a través del trabajo de brazos exhaustivo, una menor intensidad del trabajo de brazos durante la fase de la recuperación fue menos eficaz en quitar el lactato que el ejercicio de piernas [25]. En este estudio, después de 20 minutos de pedalear con una resistencia mínima, la actividad bioeléctrica muscular del miembro inferior volvió a casi los valores de pre-ejercicio, lo que indica que este tipo de ejercicio activo quita la fatiga y recupera mejor los músculos activos que el ejercicio de brazos o el descanso pasivo. Una superioridad de la recuperación activa usando los mismos músculos que fueron activos durante el ejercicio fatigante fue reportada en la recuperación en los grupos de jugadores de fútbol y de piragüistas de montaña. Por lo tanto, en base a nuestras observaciones nosotros hemos indicado que el ejercicio activo ligero es eficaz en quitar la fatiga de los músculos post-ejercicio independientemente de la disciplina deportiva y el entrenamiento específico deportivo. En nuestro estudio, tanto los jugadores de fútbol que sobrecargan principalmente en forma diaria un entrenamiento de los músculos de los miembros inferiores, como los piragüistas, que en contraste sobrecargan principalmente los músculos del tren superior, reaccionan similarmente a los métodos de recuperación aplicados. El ejercicio de brazos activo fue menos eficaz en ambos grupos, indicando una falta de relación entre las características de la disciplina que entrenan los atletas (es decir, qué parte del cuerpo está principalmente sobrecargada durante el entrenamiento) y la eficacia de la recuperación activa.

Un tema importante es la duración del tiempo de la recuperación entre los esfuerzos musculares. En el presente estudio, 20 minutos de pausa fueron aplicados. Lariviere y cols. [12] usaron la sEMG para evaluar intervalos de pausa pasiva de 10 y 15 minutos después del ejercicio fatigante. Sus resultados indican que la recuperación del músculo completa se logró con períodos de descanso de 10 a 15 minutos. Vaz, y cols. [41] evaluaron los cambios post-ejercicio en la frecuencia promedio de la señal de la sEMG de los músculos RF y VLO, y observaron que después de 15 minutos de recuperación pasiva, la velocidad de conducción de las unidades motoras recobraba su valor de umbral, pero la amplitud todavía era superior que su valor de pre-ejercicio. Esposito y cols. [42] demostraron que 10 minutos después de la recuperación pasiva, la fatiga muscular post-ejercicio causó una disminución en la MCV por 26% y cambios notables en la amplitud y en la frecuencia de la señal de la sEMG. Los cambios de estos parámetros ocurrieron a pesar del hecho de que el nivel de parámetros de la fuerza obtenidos después de la recuperación y antes del esfuerzo físico, era el mismo. En este estudio, resultados similares en la actividad de la sEMG del músculo y en los parámetros de fuerza fueron obtenidos.

En el presente estudio, los sujetos corrieron en la cinta ergométrica hasta el punto de la fatiga, seguido por un período de recuperación de 20 minutos. En nuestro estudio previo [33], un tiempo de recuperación más corto (5 minutos) fue utilizado, y esta pudo ser la razón para la disminución significativa en la MCV observada después de la recuperación. En base a los datos de nuestro estudio previo [33] y de otras observaciones de otros autores [12,43], los períodos de descanso cortos parecen insuficientes para permitir la recuperación completa y los períodos de descanso más largos de 10-20 minutos serían los más apropiados. Después de 20 minutos de pedalear con una resistencia mínima, la actividad bioeléctrica muscular del miembro inferior volvió a los valores de pre-ejercicio indicando que este tipo de ejercicio activo permite el relevamiento de la fatiga y mejora la recuperación de los músculos activos que al usar el ejercicio de brazos o un descanso pasivo.

Hay varias limitaciones de este estudio que necesitan ser dirigidas. Primero, la población del estudio consistió en jugadores de fútbol y piragüistas de montaña, por lo que estos resultados no pueden ser extrapolados a otras disciplinas deportivas, y la investigación futura debe dirigirse con otros grupos de atletas. Adicionalmente, el protocolo del presente estudio de fatiga involucró sólo correr en cinta ergométrica, por lo tanto, afectando sólo a los músculos del miembro inferior. Nosotros pensamos que los estudios futuros también deben incluir ejercicio fatigante de los miembros superiores. El uso de dos métodos del protocolo de fatiga y dos métodos de recuperación activa (los brazos activos y las piernas activas) puede permitir la exploración de la eficacia de la recuperación de post-ejercicio más comprensivamente.

## CONCLUSIONES

El propósito de este estudio fue investigar el efecto de tres métodos de recuperación sobre el torque pico muscular, el trabajo y la potencia, y en la actividad bioeléctrica muscular después de una exhaustiva carrera en cinta ergométrica con 20 minutos de recuperación post-ejercicio.

Se reportó una superioridad de la recuperación activa que usa los mismos músculos que eran activos durante el ejercicio

fatigante sobre la recuperación en jugadores de fútbol como en piragüistas de montaña. Por lo tanto, en base a nuestras observaciones nosotros indicamos que este tipo de ejercicio activo ligero es eficaz en quitar la fatiga muscular post-ejercicio independientemente de la disciplina deportiva que se entrene. En nuestro estudio, tanto los jugadores de fútbol que diariamente cargan su entrenamiento principalmente sobre los músculos del miembro inferior, como los piragüistas que cargan principalmente los músculos del tren superior, reaccionan similarmente a los métodos de recuperación aplicados. Los ejercicios de brazos activos fueron menos eficaces en ambos grupos, lo que indica una falta de relación entre las características de la disciplina que entrena el atleta (y por lo tanto, qué parte del cuerpo está principalmente sobrecargada durante el entrenamiento) y la eficacia del método de recuperación activa.

En base a nuestros resultados, nosotros indicamos que 20 minutos de recuperación activa post-ejercicio trabajando los mismos músculos que eran activos durante el ejercicio fatigante son más eficaces en la reducción de la fatiga que el ejercicio activo que usa aquellos músculos no involucrados en el esfuerzo fatigante.

### Implicancias prácticas

En base a nuestros resultados, nosotros indicamos que 20 minutos de recuperación activa post-ejercicio trabajando los mismos músculos que eran activos durante el ejercicio fatigante son más eficaces en quitar la fatiga que el ejercicio activo que usa aquellos músculos no involucrados en el esfuerzo fatigante o en el descanso pasivo. Este tipo de ejercicio activo ligero es eficaz en quitar la fatiga muscular post-ejercicio independientemente de la disciplina deportiva que se entrene.

## REFERENCIAS

1. Barnett A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. *Sports Medicine* 2006; 36(9): 781-796. doi: 10.2165/00007256-200636090-00005.
2. Lattier G, Millet GY, Martin A, Martin V. (2004). Fatigue and recovery after high-intensity exercise part I: neuromuscular fatigue. *Int J Sports Med* 2004; 25(6): 450-456.
3. Thiriet P, Gozal D, Wouassi D, Oumarou T, Gelas H, Lacour JR. (1993). The effect of various recovery modalities on subsequent performance, in consecutive supramaximal exercise. *J Sports Med Phys Fitness* 1993; 33(2): 118-129.
4. Corder KP, Potteiger JA, Nau KL, Figoni SE, Hershberger SL. (2000). Effects of Active and Passive Recovery Conditions on Blood Lactate, Rating of Perceived Exertion, and Performance During Resistance Exercise. *J Strength Cond Res* 2000; 14(2): 151-156.
5. Gupta S, Goswami A, Sadhukhan AK, Mathur DN. (2000). Comparative study of lactate removal in short term massage of extremities, active recovery and a passive recovery period after supramaximal exercise sessions. *Int J Sport Med* 1996; 17(2): 106-110.
6. Monedero J, Donne B. (2000). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med* 2000; 21(8): 593-597.
7. Häkkinen K, Komi PV. (1986). Effects of fatigue and recovery on electromyographic and isometric force-and relaxation-time characteristics of human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Phys* 1986; 55(6): 588-596.
8. Lau S, Berg K, Latin RW, Noble J. (2001). Comparison of active and passive recovery of blood lactate and subsequent performance of repeated work bouts in ice hockey players. *J Strength Cond Res* 2001; 15(3):367-71.
9. Miller RG, Giannini D, Milner-Brown HS, Layzer RB, Koretsky AP, Hooper D, et al. (1987). Effects of fatiguing exercise on high-energy phosphates, force, and EMG: evidence for three phases of recovery. *Muscle Nerve* 1987; 10(9):810-21.
10. Farina D. (2006). Interpretation of the surface electromyogram in dynamic contractions. *Exerc Sport Sci Rev* 2006; 34(3): 121-127.
11. Häkkinen K. (1993). Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *Int J Sport Med* 1993; 14(2): 53-59.
12. Lariviere C, Gravel D, Arsenault AB, Gagon D, Loisel P. (2003). Muscle recovery from a short fatigue test and consequence on the reliability of EMG indices of fatigue. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89: 171-176.
13. DeLuca CJ. (1984). Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in human. *Crit Rev Biomed Eng* 1984; 11: 251-279.
14. Gandevia SC. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev* 2001; 81: 1725-1789.
15. Gates DH, Dingwell JB. (2008). The effects of neuromuscular fatigue on task performance during repetitive goal-directed movements. *Exp Brain Res* 2008; 187(4): 573-585.
16. Cifrek M, Medved V, Tonković S, Ostojić S. (2009). Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clin Biomech* 2009; 24(4): 327-340.
17. Cifrek M, Tonković S, Medved V. (2000). Measurement and analysis of surface myoelectric signals during fatigued cyclic dynamic contractions. *Measurement* 2000; 27(2): 85-92.
18. Ahmaidi S, Granier P, Taoutaou Z, Mercier J, Dubouchaud H, Prefaut C. (1996). Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28(4): 450-456.
19. Choi D, Cole KJ, Goodpaster BH, Fink WJ, Costill DL. (1994). Effect of passive and active recovery on the resynthesis of muscle glycogen. *Med Sci Sports Exerc* 1994; 26(8):992-6.

20. Taoutaou Z, Granier P, Mercier B, Mercier J, Ahmaidi S, Prefaut C. (1996). Lactate kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996; 73(5): 465-470.
21. Watts PB, Dagggett M, Gallagher P, Wilkins B. (2000). Metabolic response during sport rock climbing and the effects of active versus passive recovery. *Int J Sports Med* 2000; 21(3):185-90.
22. Coffey V, Leveritt M, Gill N. (2004). Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sport* 2004; 7: 1-10.
23. McAinch AJ, Febbraio MA, Parkin JM, Zhao S, Tangalakis K, Stojanovska L, et al. (2004). Effect of active versus passive recovery on metabolism and performance during subsequent exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2004; 14(2):185-96.
24. Fairchild TJ, Armstrong AA, Rao A, Liu H, Lawrence S, Fournier PA. (2003). Glycogen synthesis in muscle fibers during active recovery from intense exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(4):595-602.
25. Baker SJ, King N. (1991). Lactic acid recovery profiles following exhaustive arm exercise on a canoeing ergometer. *Br J Sports Med* 1991; 25(3): 165-167.
26. Weltman A, Regan JD. (1983). Prior exhaustive exercise and subsequent, maximal constant load exercise performance. *Int J Sports Med* 1983; 4(3): 184-189.
27. Weltman A, Stamford BA, Fulco C. (1979). Recovery from maximal effort exercise: lactate disappearance and subsequent performance. *J Appl Physiol* 1979; 47(4): 677-682.
28. Zarrouk 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.
29. Larsson B, Karlson S, Eriksson M, Gerdle B. (2003). Test-retest reliability of EMG and peak torque during repetitive maximum concentric knee extension. *J Electromyogr Kinesiol* 2003; 13: 281-297.
30. Larsson B, Månsson B, Karlberg C, Syvertsson P, Elert J, Gerdle B. (1999). Reproducibility of surface EMG variables and peak torque during three sets of ten dynamic contractions. *J Electromyogr Kinesiol* 1999; 9(5): 351-357.
31. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol* 2000; 10(5): 361-74.
32. Merletti R, Parker P. (2004). *Electromyography: Physiology, Engineering, and Non-Invasive Applications*, Wiley-IEEE Press.
33. Mika A, Mika P, Fernhall B, Unnithan VB. (2007). Comparison of Recovery Strategies on Muscle Performance after Fatiguing Exercise. *Am J Phys Med Rehabil* 2007; 86(6): 474-481.
34. Toubekis AG, Douda HT, Tokmakidis SP. (2005). Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance. *Eur J Appl Physiol* 2005; 93(5-6): 694-700.
35. Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HK, Graham CM, Louis G. (1996). Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996; 74(5):461-469.
36. Tiidus PM. (1997). Manual massage and recovery of muscle function following exercise: a literature review. *J Orthop Sports Phys Ther* 1997; 25(2): 107-112.
37. Tiidus PM, Shoemaker JK. (1995). Effleurage massage, muscle blood flow and long-term post-exercise strength recovery. *Int J Sports Med* 1995; 16 (7): 478-483.
38. Toubekis AG, Smiliotis I, Bogdanis GC, Mavridis G, Tokmakidis SP. (2006). Effect of different intensities of active recovery on sprint swimming performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006; 31(6): 709-716.
39. Spierer DK, Goldsmith R, Baran DA, Hryniewicz K, Katz SD. (2004). Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests. *Int J Sports Med* 2004; 25(2):109-114.
40. Lopes FA, Panissa VL, Julio UF, Menegon EM, Franchini E. (2014). The Effect of Active Recovery on Power Performance During the Bench Press Exercise. *J Hum Kinet* 2014; 40(1): 161-169.
41. Vaz MA, Zhang Y, Herzog W, Guimaraes ACS, MacIntosh BR. (1996). The behavior of rectus femoris and vastus lateralis during fatigue and recovery: an electromyographic and vibromyographic study. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1996; 36: 221-230.
42. Esposito F, Orizio C, Veicsteinas A. (1998). Electromyogram and mechanomyogram changes in fresh and fatigued muscle during sustained contraction in men. *Eur J Appl Physiol* 1998; 78: 494-50.
43. Seiler S, Hetlelid KJ. (2005). The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Med Sci Sports Exerc* 37(9): 1601, 2005

## Cita Original

Mika A, Oleksy Ł, Kielnar R, Wodka-Natkaniec E, Twardowska M, Kamiński K, et al. (2016) Comparison of Two Different Modes of Active Recovery on Muscles Performance after Fatiguing Exercise in Mountain Canoeist and Football Players. *PLoS ONE* 11(10): e0164216. doi:10.1371/journal.pone.0164216 Recibido: Abril 5, 2016; Aceptado: Septiembre 15, 2016; Publicado: Octubre 5, 2016 Copyright: © 2016 Mika et al.