



TÍTULO

EFFECTOS DE LA COMPRESIÓN NEUMÁTICA INTERMITENTE (IPC) SOBRE LA FATIGA MUSCULAR TRAS UNA CARGA EXCÉNTRICA

AUTORA

Laura Albillos Almaraz

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2021

Tutor	Dr. D. Antonio Martínez Amat
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad Pablo de Olavide
Curso	<i>Máster Oficial Interuniversitario en Actividad Física y Salud (2019/20)</i>
©	Laura Albillos Almaraz
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2020



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



Efectos de la Compresión Neumática Intermitente (IPC) sobre la fatiga muscular tras una carga excéntrica

Trabajo de Fin de Master presentado para optar al Título de Master Universitario en Actividad Física y Salud por **Laura Albillos Almaraz**, siendo el tutor del mismo el Dr. D. **Antonio Martínez Amat**

Firma: Laura Albillos Almaraz

24 de junio de 2020

MÁSTER OFICIAL INTERUNIVERSITARIO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y SALUD
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO 2014-2015

TÍTULO:

EFFECTOS DE LA COMPRESIÓN NEUMÁTICA INTERMITENTE (IPC) SOBRE LA FATIGA MUSCULAR TRAS UNA CARGA EXCÉNTRICA

AUTOR:

LAURA ALBILLOS ALMARAZ

TUTOR ACADEMICO:

Dr. D. ANTONIO MARTÍNEZ AMAT

RESUMEN:

El objetivo del presente estudio fue valorar la conveniencia de la IPC para la recuperación de la fatiga muscular, para lo que 25 sujetos (18 ♂ 7♀) realizaron un ejercicio inductor de la fatiga y tras ello, fueron sometidos a tres sesiones de presoterapia o simulación en días consecutivos y durante los que se recogieron valores de las pruebas de baropodometría (estabilometría, Sway y marcha dinámica), perímetro muscular y de la algometría. El estudio fue repetido tiempo después para realizar un crossover y finalmente los resultados obtenidos, refutarán la hipótesis inicial de que la IPC ayuda a disminuir la fatiga muscular después de un ejercicio excéntrico.

PALABRAS CLAVE:

Compresión neumática intermitente (IPC); presoterapia; fatiga muscular; recuperación; ejercicio.

ABSTRACT:

The purpose of the present study was to value the convenience of the IPC for the recovery of muscle fatigue, for which 25 subjects (18 ♂ 7♀) performed a fatigue-inducing exercise and after that, they received three pressotherapy sessions or simulation on consecutive days and during which values of the baropodometry tests (stabilometry, Sway and dynamic gait), muscle perimeter and algometry were collected. The study was repeated some time later to carry out a crossover and finally the results obtained will refute the initial hypothesis that IPC helps to decrease muscle fatigue after eccentric exercise.

KEYWORDS:

Intermittent Pneumatic Compression (IPC); pressotherapy; muscular fatigue; recovery exercise.

ÍNDICE

1. Introducción	Pág. 3
2. Objetivos	Pág. 4
3. Hipótesis	Pág. 4
4. Materiales y métodos	Pág. 5
4.1. Diseño de la investigación.....	Pág. 5
4.2. Muestra y material.....	Pág. 6
4.2.1. Sujetos.....	Pág. 6
4.2.2. Ejercicio inductor de la fatiga (EIMD).....	Pág. 6
4.2.3. Perímetro muscular.....	Pág. 6
4.2.4. Algometría.....	Pág. 6
4.2.5. Baropodometría.....	Pág. 7
4.2.6. Recuperación con IPC o simulación.....	Pág. 8
4.3. Variables y tratamiento estadístico.....	Pág. 9
5. Resultados	Pág. 9
5.1. Baropodometría.....	Pág. 9
5.1.1. Estabilometría.....	Pág. 9
5.1.2. Medidas del CoP, Sway bipodálico	Pág. 11
5.1.3. Medidas del CoP, Sway monodálico.....	Pág. 13
5.1.4. Marcha dinámica.....	Pág. 14
5.2. Algometría del vasto interno	Pág. 15
5.3. Perímetro muscular a la altura del vasto lateral.....	Pág. 15
6. Discusión	Pág. 17
7. Conclusiones	Pág. 20
8. Referencias bibliográficas	Pág. 21

1. INTRODUCCIÓN

El deporte de alta competición ha ido evolucionando con los años y volviéndose cada vez más exigente, obligando a los deportistas a mejorar su técnica y su condición física y teniendo por tanto que aumentar la cantidad de horas destinadas a exigentes entrenamientos. El inconveniente reside en que una carga excesiva de trabajo puede acarrear la aparición de la fatiga muscular y como consecuencia, una disminución de la efectividad de los entrenamientos (Bishop et al., 2008; Nédélec et al., 2013).

Friedman (2007) define la fatiga muscular como una disminución transitoria en la capacidad de realizar acciones físicas. La práctica de una actividad física intensa puede traer como consecuencia que el rendimiento y nivel de trabajo se vean mermados, al producirse un daño muscular debido a diferentes factores como son el estrés mecánico de las fibras musculares, los diferentes procesos inflamatorios o la acumulación en sangre de desechos metabólicos. (Howatson & Van Someren, 2008; Tanner et al., 2010)

Cuando la fatiga se manifiesta en el deportista le impide seguir manteniendo el mismo nivel de exigencia y aumenta el riesgo a sufrir un sobreentrenamiento que puede terminar en lesiones (Argus et al., 2013), de manera que buscará la forma más eficaz de eliminarla y que será el proceso que entenderemos como recuperación (Weerapong, 2005).

A lo largo de los años se han utilizado múltiples y variadas técnicas con la intención de acelerar este proceso de recuperación como por ejemplo la hidroterapia (Vaile et al., 2011), el masaje terapéutico (Ernst, 1998), la estimulación eléctrica o la terapia de vibración (Nédélec et al., 2013) y de entre todas ellas, son varios los estudios que apuntan que las recuperaciones activas son más eficaces que las pasivas (Webb et al., 2013). Fruto del avance tecnológico que vivimos, hoy en día han surgido nuevas opciones como es el caso de la compresión neumática intermitente (IPC) y que se viene utilizando con este fin desde hace pocos años. La IPC consiste en un tratamiento de compresión dinámica, en el que unas mangas, colocadas alrededor de las extremidades, ejercen una presión de hasta 80mmHg al inflarse de manera secuencial, de distal a proximal, a través de cámaras separadas, antes de desinflarse y repetir el proceso. Esto proporciona un efecto similar al “ordeño”, usado en los masajes tradicionales. La compresión intermitente imita la bomba anatómica músculo-venosa que hace circular la sangre desde las extremidades hacia el corazón y los pulmones, donde se vuelve a oxigenar y pasa al corazón para volver a circular (Chen et al., 2001; O'Donnell & Driller, 2015). La hipótesis de que su aplicación puede conllevar una disminución de la fatiga muscular parte de considerar que esa recirculación promueve, no solo la reabsorción de la inflamación del tejido intersticial, sino que

también promueve la curación del tejido lesionado (Chleboun et al., 1995). La implementación de protocolos de recuperación con IPC, ha reportado diversos beneficios. De este modo, cuando se usa tras un entrenamiento de fuerza inductor de la fatiga muscular, se observan niveles más bajos de proteólisis y estrés oxidativo al expresarse menos proteínas totales poli-ubiquitinadas (poli-Ub) y de 4-hinoxinenal (4HNE) en el grupo que recibió la IPC, en comparación con el de simulación (Haun et al. 2017). De manera similar, se ha descrito que independiente del ejercicio, el tratamiento con IPC aumenta el coactivador del receptor 1-alfa (PGC-1 α) activado por el proliferador de peroxisomas en el tejido muscular comprimido y tiene un gran efecto en la localización de PGC-1 α en los núcleos de las células del músculo esquelético (Kephart et al. 2015). Además, Sands et al. (2015) y Hoffman et al. (2016) encontraron que el tratamiento con IPC mejoraba los valores de percepción del dolor. Esto nos puede llevar a pensar que la IPC influirá también de manera positiva en la reducción del riesgo de lesiones al relacionarse este con la aminoración del dolor y también con la mejora de la amplitud de movimiento. (Cheung et al. 2003).

Sin embargo, este se trata de un campo poco explorado hasta la actualidad y existe gran controversia científica acerca de su forma de aplicación y de las consecuencias reales que acarrea (Cochrane et al. 2013; Martin et al. 2016). Es por ello que planteamos este estudio con la intención de aportar algo de claridad al tema que nos concierne, llevando a cabo un estudio experimental con el que podamos comprobar empíricamente las consecuencias de su utilización como método de recuperación.

2. OBJETIVOS

Generales:

- Evaluar la conveniencia de la IPC para la recuperación de la fatiga muscular

Específicos:

- Conocer cómo afecta en el patrón de marcha la recuperación con un protocolo de IPC
- Conocer cómo afecta al equilibrio estático la recuperación con un protocolo de IPC
- Conocer cómo se modifican los valores de percepción de dolor y fatiga tras la recuperación con IPC

3. HIPÓTESIS

La presoterapia ayuda a disminuir la fatiga muscular después de un ejercicio excéntrico.

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para este estudio se implementó un diseño aleatorizado, cruzado, realizándose en dos ocasiones, de manera que todos los sujetos componen tanto el grupo experimental como el control ya que recibieron ambos tratamientos, (IPC y simulación) en ocasiones distintas, pero sin saber nunca su condición, pues siempre se les dijo que estaban recibiendo tratamiento.

El primer día de los 4 que duró el estudio, los sujetos acudieron a la clínica donde se les realizó las pruebas explicadas a continuación, además de la altura y el peso. Tras ello, llevaron a cabo el protocolo de ejercicio inductor de la fatiga escogido para este estudio y posteriormente se les aplicó, durante el periodo de descanso posterior al ejercicio, la sesión de presoterapia o simulación. Finalmente volvieron a ser sometidos a todas las pruebas pertinentes.

Durante los dos días siguientes los sujetos acudían al estudio y en primer lugar se anotaban todos los valores de las variables medidas, después recibían la sesión de IPC o simulación y por último volvían a realizar los test.

El cuarto y último día únicamente realizaron las pruebas descritas, pero no recibieron ninguna sesión de IPC ni simulación. (Ver figura 4.1.1.)

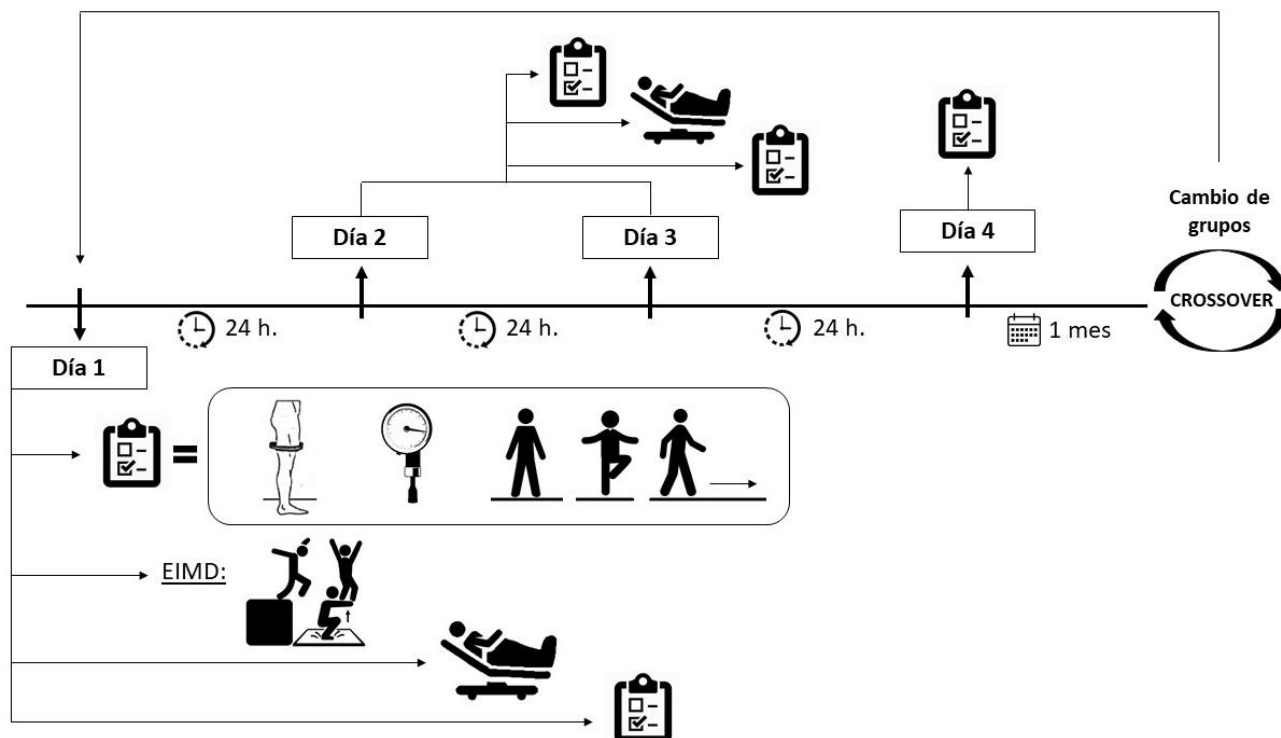


Figura 4.1.1. Esquema explicativo del estudio en el tiempo. (Elaboración propia)

4.2. MUESTRA Y MATERIAL

4.2.1. Sujetos:

En este estudio participaron inicialmente 25 sujetos (18 ♂ 7 ♀) de edades comprendidas entre 19 y 26 años y distintos niveles de condición física. La media de peso de los participantes es de 64,7±16,4 Kg y una altura de 175,2±9,3 cm. Cabe mencionar que 7 de los 25 participantes sólo realizaron la prueba de intervención, sin realizarse el control. Por lo que el número total de sujetos que finalmente se han tenido en cuenta para el análisis de los resultados fue de 17. Los participantes que se retiraron alegaron que no estaban interesados en continuar con el estudio. Todas las pruebas se realizaron en la Escuela de Medicina deportiva de la Universidad de Oviedo y todos los participantes rellenaron un consentimiento informado previamente al inicio del estudio.

4.2.2. Ejercicio inductor de la fatiga (EIMD):

Los participantes realizaron el siguiente protocolo de ejercicio: comenzaron con un calentamiento de 10 minutos en bicicleta estática con resistencia moderada-baja. A continuación, realizaron 10 series de 10 saltos cada una, con un descanso de 2 minutos entre cada serie. Los saltos se produjeron desde una altura de 60 cm, se dejaban caer desde dicha altura y una vez llegaban al suelo saltaban lo más fuerte posible hacia arriba. Lo que se pretendía es que realizaran un “drop jump” pues posee un alto componente excéntrico, el cual es más susceptible de producir mayor dolor muscular. (Marginson & Eston, 2002; Kendall et al, 2003; Twist & Eston, 2005; Marcora & Bosio, 2007).

4.2.3. Perímetro muscular

El perímetro muscular se usó para evaluar la inflamación del cuádriceps. La medición se realizó con una cinta de tensión constante mientras los sujetos estaban de pie sobre ambas piernas y sin realizar ninguna contracción muscular. La circunferencia medida es la situada a mitad del muslo al tomar como referencia la línea vertical entre el trocante mayor y la base de la rótula.

4.2.4. Algometría

El dolor muscular se evaluó aplicando presión focal en las áreas proximal, medial y distal del vasto lateral derecho utilizando un algómetro instrumentado (Force Ten FDX, Wagner Instruments, Greenwich, CT, EE. UU.) Los puntos fueron marcados con un rotulador permanente y se mantuvieron visibles durante todo el periodo de tiempo que duró el estudio.

Para la prueba cada sujeto se tumbaba decúbito supino en una camilla de masaje y se le ejercía presión en cada región hasta que él indicara que sentía dolor. Ese punto en el que la presión se volvió dolorosa se denominó Umbral de Presión del Dolor (PPT) y fue el valor registrado. Las mediciones de PPT se realizaron secuencialmente en ciclos desde el sitio proximal al medial al distal, dos veces, con el objetivo de obtener valores por duplicado. Con esos dos valores de cada punto, se calculó el promedio para obtener el valor del PPT del sitio respectivo.

4.2.5. Baropodometría

Las variables de patrón de marcha, pisada estática y el equilibrio, estudiado este a través de las variaciones del centro de presión (CoP), se obtuvieron utilizando una plataforma baropodométrica footscan de freeMED Sensormedica, S.A.S. (Roma, Italia) y los datos se registraron y analizaron con el software Free-Step (versión 1.0.3) (Roma, Italia) (Santos et al., 2014). Este sensor nos permite analizar, además de la pisada estática, diferentes aspectos de la marcha de los sujetos como el punto de máxima presión, el impulso, las fuerzas de carga, las dimensiones, la superficie de apoyo, la velocidad del movimiento, los porcentajes de contacto, los ángulos y los ejes del pie. Por otro lado, en cuanto al CoP, podremos estudiar su posición dos planos distintos, el sagital, con el que observaremos perturbaciones anteroposteriores y el transversal, que mostrará perturbaciones mediolaterales. Se utilizó una frecuencia de muestreo de 100 Hz con una frecuencia de corte de 10 Hz en la recopilación de datos siguiendo las recomendaciones de Ruhe & Walker (2010).

Las pruebas realizadas fueron, para la pisada estática, soporte bípedo durante 1 minuto, para el patrón de marcha, los pasos dados sobre la plataforma en un desfile de ida y vuelta y para el CoP, 10 segundos en soporte bípedo, 10 en soporte de pierna izquierda y 10 en soporte de pierna derecha, siempre con los ojos abiertos. Tras un primer ciclo de todas las mediciones se realizó una segunda vez para obtener todos los valores por duplicado. Así mismo, apuntar que en todas las pruebas los sujetos estaban descalzos, siguiendo las recomendaciones de la Asociación Francesa de Postura para mediciones de CoP.

Basándonos en las aportaciones de Ruhe & Walker (2010) los parámetros recogidos para cada una de las variables fueron:

- *Estabilometría (pisada estática)*: presión media (gr/cm²); porcentaje de carga del antepié y porcentaje de carga del retropié. Todos ellos tanto para pie izquierdo como para pie derecho.
- *Sway (medidas del CoP)*: longitud (mm) (desplazamiento de CoP); área (mm²) (área de precisión del sistema de control de la estabilidad postural, PCS); Delta X y Delta

Y (mm) (parámetros de dispersión que miden el grado de desviación de los parámetros de posicionamiento); velocidad media (mm/s); amplitud de la media cuadrática del CoP (RMS, mm); amplitud de la media cuadrática del CoP en la dirección mediolateral (RMSX, mm); amplitud de la media cuadrática del CoP en la dirección anteroposterior (RMSY, mm). Todos ellos para bipodálico, monopodálico izquierdo y monopodálico derecho.

- *Patrón de marcha dinámica*: velocidad media; presión media del pie izquierdo (gr/cm^2); presión media del pie derecho (gr/cm^2); superficie del pie izquierdo (cm^2) y superficie del pie derecho (cm^2).

4.2.6. Recuperación con IPC o simulación

El estudio fue realizado dos veces con al menos un mes de separación entre ambos, de manera que cada sujeto fue tratado en una ocasión con presoterapia durante los 40 minutos, y en la otra, solamente recibieron una simulación de IPC en la que los participantes tenían puestas las fundas durante esos 40 minutos, pero no se inflaban, componiendo así grupo control del estudio.

Para el tratamiento de IPC se utilizó un dispositivo de compresión dinámica de pulso peristáltico (NormaTec, Newton Center, MA, EE. UU.) Consta de 2 "mangas de pierna" separadas que contienen 5 cámaras inflables circunferenciales (dispuestas linealmente a lo largo de la extremidad) que abarcan la pierna desde los pies hasta la cadera/ingle. Las "mangas de pierna" están conectados a una bomba neumática automatizada desde la que se pueden controlar las presiones de inflado para cada zona, así como el ciclo de trabajo deseado (Haun et al. 2017; Martin et al. 2015 y Martin et al. 2016). Para este estudio se usaron los valores predeterminados preprogramados para el ciclo de trabajo y ajustes de presión de inflado recomendado por el fabricante, que consiste en presiones de inflación de 80 mm Hg para cada cámara.

La cámara distal (que cubre desde el tobillo alto hasta los dedos de los pies) se infló a aproximadamente 80 mm Hg durante 1 minuto, mientras que las zonas restantes no se inflaron. Tras ello, la presión se mantuvo constante a 80 mm Hg y el mismo proceso ocurrió en la zona de arriba (gemelos) durante otro minuto. Después de este minuto, la zona del tobillo se desinfló por completo, la pantorrilla permaneció a una presión constante de aproximadamente 80 mm Hg, y la presión nueva se ejerció en la siguiente zona más alta (muslos inferiores). Nuevamente esta se mantuvo constante, la anterior se desinfló y se infló la zona más alta (muslos superiores) durante otro minuto. El proceso concluyó con el desinflado completo de todas las zonas durante aproximadamente 30 segundos, completándose así un ciclo de compresión completo. Todo este

ciclo de compresión se repitió continuamente durante el transcurso de la sesión de tratamiento que duró 40 minutos.

La condición de tratamiento simulado consistió en la colocación a los sujetos de las "mangas de pierna" IPC y su conexión a la bomba neumática, pero con una presión tan leve, que resulta insignificante en cuanto términos de tratamiento de 20 mmHg. (Haun et al. 2017; Martin et al. 2015 y Martin et al. 2016).

4.3. VARIABLES Y TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Con la prueba de Kolmogorov-Smirnov de una muestra se confirmó la suposición de una distribución normal para todas las variables. El efecto del protocolo de recuperación con presoterapia en los diferentes parámetros medidos entre los dos grupos y en diferentes puntos de tiempo, se analizó mediante un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) bidireccional (grupo x tiempo) usando SPSS 20.0 (Paquete Estadístico para Ciencias Sociales, Chicago, IL, EE. UU.). En caso de efecto principal significativo o efecto de interacción, se realizó un análisis post hoc con corrección de Bonferroni. Para cada resultado, se obtuvo un valor p correspondiente al efecto de intervención principal y al efecto del tiempo. Cuando el valor p fue ≤ 0.05 , las diferencias se consideraron estadísticamente significativas.

5. RESULTADOS

5.1. BAROPODOMETRÍA

5.1.1. Estabilometría:

Se halló un efecto principal del tipo de tratamiento en las tres variables estudiadas: presión media del pie izquierdo y derecho ($F(1, 17) = 41.765$, $\eta^2 = 0.711$, $p < 0.001$ / $F(1, 17) = 30.14$, $\eta^2 = 0.63$, $p < 0.001$), porcentaje de carga del antepié izquierdo y derecho ($F(1, 17) = 10.6$, $\eta^2 = .38$, $p = .005$ / $F(1, 17) = 17.69$, $\eta^2 = .51$, $p = .001$) y porcentaje de carga del retropié izquierdo y derecho ($F(1, 17) = 9.55$, $\eta^2 = .36$, $p = .007$ / $F(1, 17) = 14.57$, $\eta^2 = .46$, $p = .001$).

En cuanto al efecto del tiempo, se encontraron resultados significativos únicamente en la presión media del pie izquierdo ($F(3, 51) = 3.951$, $p = 0.013$, $\eta^2 = 0.189$) y del derecho ($F(3, 51) = 4.82$, $\eta^2 = .22$, $p = .005$).

No hubo resultados significativos en la interacción el tipo de tratamiento y el tiempo para ninguna de las variables.

Se observó un efecto significativo del tratamiento de IPC comparado con el de simulación para los parámetros de: presión media izquierda y derecha ($p < .001$ y $p < .001$) y porcentaje de

carga del retropié izquierdo y derecho ($p=.007$ y $p=.001$). El efecto del tratamiento fue significativamente menor en IPC vs CON para el porcentaje de carga del antepié izquierdo y derecho ($p=.005$ y $p=.001$).

Se han encontrado diferencias entre los valores basales de la presión media del pie izquierdo y los registrados a las 72h. ($p=0,03$) y también para los de la presión media del pie derecho con los tomados a las 24h. ($p=0.05$) y a las 72h. ($p=0,03$).

Hubo valores significativamente superiores en el grupo IPC comparado con el control en dos de los cuatro días en los que se tomaron medidas: a las 24 horas, en el porcentaje de carga del retropié izquierdo ($p=.02$) y a las 72 horas, para el porcentaje de carga del retropié izquierdo y derecho ($p=.01$ y $p=.01$). La variable en las que se presentaron valores superiores en el grupo control comparado con el IPC fueron el porcentaje de carga del antepié derecho en Pre ($p=.01$) y tanto del derecho como del izquierdo a las 24 horas ($p=.01$ y $p=.035$) y a las 72 ($p=.01$ y $p=.048$). (Ver tabla 5.1.1.1.)

Tabla 5.1.1.1. Medidas de la estabilometría del grupo IPC y CON antes del entrenamiento, 24, 48 y 72 horas después del ejercicio

	Presión media (gr/cm ²)	Carga del antepié (%)	Carga del retropié (%)
PIE IZQ IPC			
Pre	492.66 ± 120.84	19.36 ± 7.55	29.16 ± 7.74
24	460.11 ± 74.11	19.22 ± 5.32	30.16↓ ± 6.11
48	448.52 ± 80.81	20.63 ± 5.92	27.94 ± 6.22
72	444.52 ± 77.51	20.33 ± 5.16	28.62↓ ± 5.11
PIE IZQ CON			
Pre	389.56 ± 87.23	21.77 ± 5.38	26.72 ± 4.98
24	383.72 ± 86.52	21.50↓ ± 5.45	27.38 ± 5.98
48	375.40 ± 90.66	21.37 ± 4.47	27.66 ± 5.03
72	355.18 ± 66.12	23.07↓ ± 5.88	25.12 ± 5.47
PIE DCH IPC			
Pre	499.13 ± 96.56	20.16 ± 6.98	30.19 ± 6.47
24	459.41 ± 72.69	21.22 ± 5.40	29.88 ± 4.09
48	451.50 ± 82.39	21.5 ± 5.52	29.30 ± 5.44
72	449.36 ± 70.11	21.88 ± 5.48	28.94↓ ± 4.79
PIE DCH CON			
Pre	397.94 ± 97.79	24.08↓ ± 5.07	27.61 ± 5.34
24	384.72 ± 75.81	24.08↓ ± 5.65	27.80 ± 6.04
48	390.68 ± 90.43	24.12 ± 4.99	27.38 ± 4.60
72	368.46 ± 73.64	25.57↓ ± 5.07	25.92 ± 5.38

CON: grupo con tratamiento de simulación de presoterapia; DCH: pie derecho; IPC: grupo con tratamiento de presoterapia; IZQ: pie izquierdo.

Media \pm Desviación Estándar

‡ p<0.5 comparación entre grupos

5.1.2. Medidas del CoP, Sway bipodálico:

Hubo un efecto principal del tratamiento en las variables de longitud ($F(1,16) = 15.53, \eta^2 = .49, p=.001$), área ($F(1,16) = 7.92, \eta^2 = .33, p=.012$), Delta X ($F(1,15) = 12.14, \eta^2 = .44, p=.003$), Delta Y ($F(1,16) = 12.59, \eta^2 = .44, p=.003$), velocidad media ($F(1,16) = 17.01, \eta^2=.51, p=.001$), RMS ($F(1,16) = 20.53, \eta^2 = .56, p < .001$), RMSX ($F(1,16) = 10.85, \eta^2=.40, p=.005$) y RMSY ($F(1,16) = 20.86, \eta^2 = .56, p < .001$).

Así mismo, se observó un efecto significativo del tiempo en la longitud ($F(3,48) = 4.98, \eta^2 = .23, p=.004$) y en la velocidad media ($F(3,48) = 5.12, \eta^2 = .24, p = .004$). Para estas dos variables también se presentó una interacción significativa entre el tipo de tratamiento y el tiempo (longitud: $F(3,48) = 4.93, \eta^2 = .23, p=.005$. Velocidad media: $F(3,48) = 4.91, \eta^2 = .23, p=.005$).

Se observó un efecto significativo del tratamiento de IPC comparado con el de simulación para la longitud ($p=.001$), área ($p=.012$), delta X ($p=.003$), delta Y ($p=.003$), velocidad media ($p=.001$), RMS ($p<.001$), RMSX ($p=.005$) y RMSY ($p<.001$). Las diferencias en el tiempo fueron encontradas entre los valores basales y las 48h. para la longitud ($p=.02$) y la velocidad media ($p=.02$).

En condiciones basales vimos diferencias significativas entre los dos tratamientos para la longitud ($p=.01$), la velocidad media ($p=.005$), delta X ($p=.05$), RMS ($p=.02$), RMSX ($p=.05$), RMSY ($p=.01$). A las 24h. el grupo IPC obtuvo valores superiores en longitud ($p=.001$), velocidad media ($p=.001$), RMS ($p=.01$) y RMSY ($p=.001$); a las 48h. en el área ($p=.02$), delta Y ($p=.06$), RMS ($p=.02$) y RMSX ($p=.04$) y a las 72h en longitud ($p=.004$), delta Y ($p=.04$), velocidad media ($p=.01$), RMS ($p<.001$), RMSX ($p=.007$), RMSY ($p=.007$).

Dentro del grupo IPC, de hallaron valores significativamente inferiores de la longitud a las 48h. comparándolo con el Pre, el 24h. y el 72h. ($p=.01$ y $p=.003, p=.06$) y también de la velocidad media, comparando las 48h. con Pre y con 24h. ($p=.01$ y $p=.004$). En el grupo control encontramos valores superiores en Pre comparado con 72h. en el RMS y RMSX ($p=.03$ y $p=.05$). (Ver tabla 5.1.2.1.).

Tabla 5.1.2.1. Medidas del Centro de presiones en los grupos IPC y CON antes del entrenamiento, 24, 48 y 72 horas después

Variable	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Delta X (mm)	Delta Y (mm)
BI. IPC				
Pre	334.47 \downarrow \pm 125.41	120.64 \pm 149.22	11.02 \downarrow \pm 10.74	11.65 \pm 8.16
24	322.38 \downarrow \pm 103.96	57.56 \pm 47.77	6.82 \pm 1.79	9.84 \pm 7.80
48	231.77* \pm 55.22	112.73 \downarrow \pm 109.43	9.38 \pm 6.67	10.73 \downarrow \pm 6.64
72	279.20 \downarrow \pm 74.20	158.74 \pm 284.88	9.59 \pm 6.50	11.13 \downarrow \pm 9.18
BI. CON				
Pre	242.11 \pm 108.74	51.95 \pm 35.17	6.53 \pm 1.71	8.59 \pm 4.00
24	213.27 \pm 86.14	47.03 \pm 29.62	6.53 \pm 2.15	6.79 \pm 2.84
48	227.03 \pm 85.45	42.61 \pm 45.95	6.44 \pm 2.18	7.25 \pm 3.87
72	218.85 \pm 71.24	51.49 \pm 46.76	6.45 \pm 2.38	7.60 \pm 3.61
MONO. IZQ. IPC				
Pre	336.20 \pm 68.17	336.20 \downarrow \pm 68.17	8.17 \downarrow \pm 3.11	14.12 \pm 9.84
24	347.58 \downarrow \pm 103.11	347.58 \pm 103.11	8.18 \pm 4.23	13.00 \downarrow \pm 10.92
48	322.64 \downarrow \pm 69.39	322.64 \downarrow \pm 69.39	8.61 \pm 5.11	10.55 \downarrow \pm 5.67
72	349.26 \pm 112.83	349.26 \pm 112.83	8.46 \pm 4.13	11.30 \pm 8.39
MONO. IZQ. CON				
Pre	303.34 \pm 86.29	303.34 \pm 86.29	5.49 \pm 1.54	6.61 \pm 3.80
24	267.09 \pm 85.25	267.09 \pm 85.25	6.09 \pm 2.25	8.17 \pm 4.09
48	283.07 \pm 94.59	283.07 \pm 94.59	7.13 \pm 5.08	8.20 \pm 3.66
72	298.99 \pm 96.98	298.99 \pm 96.98	6.27 \pm 2.53	7.61 \pm 3.88
MONO. DCH. IPC				
Pre	398.22 \downarrow \pm 83.73	643.68 \downarrow \pm 401.56	18.19 \downarrow \pm 4.91	34.01 \downarrow \pm 14.98
24	389.91 \downarrow \pm 82.77	367.42 \pm 248.48	16.43 \pm 6.19	22.37 \pm 6.80
48	408.56 \pm 140.28	813.60 \pm 1481.88	32.73 \pm 64.45	42.44 \pm 70.18
72	378.58 \downarrow \pm 79.15	362.75 \pm 188.36	15.00 \pm 5.01	22.20* \pm 5.63
MONO. DCH. CON				
Pre	339.65 \pm 92.34	298.68 \pm 239.94	14.07 \pm 4.67	20.96 \pm 9.06
24	336.62 \pm 124.58	258.01 \pm 224.32	13.09 \pm 4.27	19.55 \pm 7.65
48	343.91 \pm 96.46	287.55 \pm 172.27	14.35 \pm 3.41	22.34 \pm 9.19
72	332.15 \pm 104.41	258.53 \pm 170.39	13.88 \pm 4.35	19.70 \pm 7.41
Variable	Velocidad media	RMS (mm)	RMSX (mm)	RMSY (mm)
BI. IPC				
Pre	24.69 \downarrow \pm 9.43	1.11 \downarrow \pm .35	.85 \downarrow \pm .23	.69 \downarrow \pm .28
24	22.89 \downarrow \pm 7.59	1.03 \downarrow \pm .24	.80 \downarrow \pm .18	.63 \pm .21
48	16.76* \pm 3.97	.99 \downarrow \pm .22	.78 \downarrow \pm .17	.60* \pm .17
72	19.71 \pm 6.12	1.02 \downarrow \pm .20	.78 \downarrow \pm .17	.62 \downarrow \pm .16
BI. CON				
Pre	17.09 \pm 8.1	.94 \pm .25	.76 \pm .19	.54 \pm .20
24	15.03 \pm 6.17	.83 \pm .20	.69 \pm .18	.46 \pm .10
48	16.19 \pm 6.18	.82 \pm .18	.68 \pm .15	.46 \pm .11
72	15.48 \pm 5.15	.81* \pm .12	.67* \pm .11	.46 \pm .09

MONO. IZQ. IPC				
Pre	27.37 ± 6.58	1.50 ± .74	1.06 ± .73	.99 ± .41
24	26.84 ↓ ± 9.76	1.24 ± .35	.89 ± .15	.82 ↓ ± .42
48	24.67 ± 6.16	1.09 ↓ ± .25	.84 ↓ ± .24	.68 ↓ ± .16
72	27.83 ± 12.39	1.12 ± .26	.86 ± .23	.69 ± .20
MONO. IZQ. CON				
Pre	24.18 ± 7.96	.98 ± .21	.77 ± .17	.59 ± .16
24	19.97 ± 6.65	.92 ± .19	.73 ± .16	.54 ± .19
48	22.10 ± 8.46	.87 ± .19	.68 ± .15	.53 ± .13
72	23.09 ± 9.66	.87 ± .18	.69 ± .16	.52 ± .12
MONO. DCH. IPC				
Pre	27.85 ↓ ± 6.28	8.34 * ± 3.30	7.92 ± 3.20	2.11 ± 1.78
24	24.99 ↓ ± 6.49	9.49 ± 3.04	9.24 ± 3.07	1.91 ± .97
48	27.02 ± 12.61	10.89 ± 5.30	10.26 ↓ ± 4.51	2.93 ± 3.57
72	22.90 * ± 4.67	10.46 ± 3.58	10.25 ± 3.58	1.81 ± 1.09
MONO. DCH. CON				
Pre	22.22 ± 8.10	8.61 ± 4.36	8.28 ± 4.52	1.69 ± 1.15
24	20.09 ± 7.40	9.32 ± 4.50	9.16 ± 4.57	1.47 ± .59
48	21.18 ± 6.31	9.19 ± 4.24	8.91 ± 4.31	1.88 ± .94
72	20.20 ± 6.34	9.23 ± 5.04	8.93 ± 5.25	1.66 ± .75

BI: bipodálica; CON: grupo con tratamiento de simulación de presoterapia; DCH: pie derecho; Delta X: índice centro de presiones en dirección mediolateral; Delta Y: índice del centro de presiones en dirección anteroposterior; IPC: grupo con tratamiento de presoterapia; IZQ: pie izquierdo; MONO: monopodálica; RMS: media cuadrática de la amplitud del centro de presiones; RMSX: media cuadrática de la amplitud del centro de presiones en dirección mediolateral; RMSY: media cuadrática de la amplitud del centro de presiones en dirección anteroposterior.

Media ± Desviación Estándar

*p<.05 comparando las medidas de diferentes momentos de medición (Pre, 24, 48 y 72) dentro de un mismo grupo de tratamiento.

↓ p<0.5 comparación entre grupos

5.1.3. Medidas del CoP, Sway monodálico:

Para el pie izquierdo hubo un efecto principal del tipo de tratamiento en la longitud (F (1,16)=13.40, $\eta^2 = .45$, p=.002), área (F(1,16) = 7.06, $\eta^2 = .30$, p=.017, Delta X (F (1,16) = 4.49, $\eta^2 = .21$, p=.05) Delta Y (F (1,16) = 14.57, $\eta^2 = .47$ p= .002), velocidad media (F (1,16) = 12.30, $\eta^2 = .43$, p=.003) y RMSY (F (1,16) = 12.56, $\eta^2 = .44$, p= .003). Para el pie derecho el efecto principal del tipo de tratamiento fue registrado para la longitud (F (1,16) = 13.14, $\eta^2 = .45$, p=.002), área (F(1,16) = 6.90, $\eta^2 = .30$, p=.018), (F(1,16) = 9.76, $\eta^2 = .37$, p=.007), Delta Y (F(1,16) = 4.90; $\eta^2 = .23$, p=.042) y velocidad media (F(1,16) = 4.71, $\eta^2 = .47$, p= .001).

El efecto significativo del tiempo se observó solo en el pie derecho en RMS (F(3,48) = 4.24, $\eta^2 = .21$, p=.01) y RMSX (F(3,48) = 5.41, $\eta^2 = .25$, p=.003), y no existieron resultados significativos de la interacción entre el tipo de tratamiento y el tiempo para ninguna de las variables.

Se observó un efecto significativo del tratamiento de IPC en comparación al de simulación para la longitud de pie izquierdo y derecho ($p=.002$ y $p=.002$), el área del pie izquierdo y derecho ($p=.017$ y $p=.018$), delta X izquierdo ($p=.05$), delta Y izquierdo y derecho ($p=0,002$ y $p=0,042$), velocidad media izquierda y derecha ($p=0,003$ y $p=0,001$) y en RMSY izquierdo ($p=.003$).

Las diferencias significativas de tiempo solo se encontraron entre los valores basales de delta Y del pie derecho y los tomados a las 72h ($p=.027$) y entre los basales del RMSX del pie derecho y los registrados a las 48h ($p<.001$) y a las 72h. ($p=.033$).

En condiciones basales se hallaron diferencias significativas entre los dos tratamientos para la longitud del pie derecho ($p<.001$), en el área izquierdo y derecho ($p=.012$ y $p=.004$), delta X izquierdo y derecho ($p=.003$ y $p=.008$), delta Y derecho ($p=.002$) y en la velocidad media derecha ($p=.001$). A las 24h. hubo valores superiores en IPC vs CON para la longitud izquierda y derecha ($p=.001$ $p=.037$), delta Y izquierdo ($p=.05$), la velocidad media izquierda y derecha ($p=.003$ y $p=.007$) y en RMSY izquierdo ($p=.024$); a las 48h. en la longitud del pie izquierdo ($p=.032$), área izquierdo ($p=.022$), delta Y izquierdo ($p=.008$), RMS izquierdo ($p=.02$), RMSX izquierdo y derecho ($p=.053$ y $p<.0010$), RMSY izquierdo ($p=.012$) y a las 72h en la longitud del pie derecho ($p=.04$).

Dentro del grupo IPC, para el delta Y derecho, vimos valores significativamente superiores en el Pre comparado con 24h ($p=.042$) y con 72h ($p=.041$). También la velocidad media del grupo IPC presentó valores mayores en Pre vs 72h ($p=.007$) y el RMSX en Pre vs 48h ($p=.02$) y vs 72h ($p=.017$). En el grupo CON no ha existido ninguna diferencia de tiempo para ninguna de las variables estudiadas. (Ver tabla 5.1.2.1.)

5.2.4. Marcha dinámica:

No hubo un efecto principal del tipo de tratamiento, ni del tiempo, ni de su interacción para ninguna de las variables estudiadas.

A las 24h. se observó mayor velocidad media en el grupo control que en el IPC ($p=.002$) y mayor superficie del pie izquierdo en IPC comparado con la simulación ($p=.019$). Al día siguiente, es decir, en 48h. volvió a aparecer un valor significativamente superior de la velocidad media en CON, comparado con IPC ($p=.035$).

Las únicas diferencias de tiempo en función del tipo de tratamiento se observaron en el grupo IPC con valores superiores de la superficie del pie izquierdo en 24h. comparado con el Pre ($p=.018$). (Ver tabla 5.2.4.1.).

Tabla 5.2.4.1. Medidas del patrón de marcha dinámica antes del entrenamiento, 24, 48 y 72 horas después

Variable	Velocidad media (m/min)	Presión media pie izq. (gr/cm ²)	Presión media pie dch. (gr/cm ²)	Superficie pie izq. (cm ²)	Superficie pie dch. (cm ²)
GRUPO IPC					
Pre	58.59 ± 10.38	1452.53 ± 245.58	1576.64 ± 334.80	74.14* ± 15.92	74.07 ± 17.35
24	56.71 ± 7.95	1375.71 ± 312.74	1407.60 ± 319.78	82.71 ↓ ± 16.78	76.28 ± 13.96
48	57.41 ± 7.73	1361.25 ± 242.24	1551.03 ± 208.58	77.14 ± 16.74	77.75 ± 16.23
72	56.99 ± 6.17	1382.96 ± 262.40	1527.89 ± 236.46	78.89 ± 18.36	78.82 ± 15.44
GRUPO CON					
Pre	59.07 ± 15.02	1395.52 ± 317.73	1527.89 ± 282.91	78.28 ± 22.47	77.39 ± 21.19
24	62.33 ↓ ± 8.82	1404.23 ± 304.19	1579.34 ± 296.65	74.27 ± 18.85	74.77 ± 15.44
48	61.55 ↓ ± 8.69	1441.14 ± 273.18	1626.71 ± 423.95	74.28 ± 15.49	72.82 ± 12.32
72	61.00 ± 15.97	1450.25 ± 291.95	1553.73 ± 402.76	74.52 ± 14.52	71.54 ± 16.50

CON: grupo con tratamiento de simulación de presoterapia; IPC: grupo con tratamiento de presoterapia

Media ± Desviación Estándar

*p<.05 comparando las medidas de diferentes días, dentro de un mismo grupo de tratamiento.

↓ p<0.5 comparando los dos tipos de tratamiento en el día señalado

5.2. ALGOMETRÍA DEL VASTO INTERNO

Ha habido un efecto significativo del tiempo ($F(3,18,31.82) = 4.79, \eta^2 = .32, p = .006$) pero no se observó ningún resultado significativo cuando comparamos los tratamientos, el tiempo o su interacción. (Ver tabla 5.2.1.)

5.3. PERÍMETRO MUSCULAR A LA ALTURA DEL VASTO LATERAL:

Hubo un efecto principal del tipo de tratamiento ($F(1,8) = .54.85, \eta^2 = .87, p < .001$), del tiempo ($F(2,21,17.68) = 20.60, \eta^2 = .72, p < .001$) y de la interacción entre el tipo de tratamiento y el tiempo ($F(2,24,17.99) = 16.21, \eta^2 = .67, p < .001$).

Se observó un efecto significativo del IPC sobre la simulación ($p < .001$).

Se han registrado diferencias significativas entre los tres tiempos de medición del primer día y el resto de días de los que se compone el estudio. El momento correspondiente al primer día antes de realizar el EIMD, presentó diferencias con 24h. antes y después de realizar el IPC ($p < .001$ y $p = .04$), con 48h. antes y después de la IPC ($p < .001$ y $p = .005$) y con 72h. ($p = .003$). El primer día después del EIMD y antes de la IPC, mostró diferencias con 24h. antes del IPC ($p = .001$), con 48h. antes y después de la IPC ($p = .001$ y $p = .01$) y con 72 h ($p = .005$). Y por último el primer día después de la IPC presentó diferencias con 24h. antes de la IPC ($p < .001$), con 48h. antes y después de la IPC ($p = .001$ y $p = .0014$) y con 72h. ($p = .005$).

Al comparar los dos tratamientos vimos que existen valores significativamente superiores del perímetro muscular en el grupo IPC vs CON, 24h. antes de la IPC y después ($p < .001$ y $p = .001$), 48h. antes de la IPC y después ($p < .001$ y $p < .001$) y en 72h. ($p < .001$).

Dentro del grupo IPC hubo valores significativamente menores en el primer día antes de realizar el EIMD comparado con 24h. antes de realizar el IPC y después ($p < .001$ y $p = .04$), 48h. antes de la IPC y después ($p < .001$ y $p = .001$) y 72h. ($p = .001$). También fueron menores los del primer día después del EIMD y antes de la IPC, comparado con 24h. antes del IPC ($p < .001$), 48h. antes de la IPC y después ($p < .001$ y $p = .001$) y 72 h ($p < .001$). Finalmente, el primer día después de la IPC presentó menores valores comparado con 24h. antes de la IPC ($p = .001$), con 48h. antes y después de la IPC ($p = .001$ y $p = .002$) y con 72h. ($p = .005$). Estas diferencias no se dieron en el grupo control. (Ver tabla 5.2.1.)

Tabla 5.2.1. Medidas de dolor con la algometría y el perímetro del cuádriceps del grupo IPC y CON:

	ALGOMETRÍA VI	PERÍMETRO VL
GRUPO IPC		
Pre_0	4.43 ± 1.41	52.04 ± 4.77
Pre_1	4.80 ± 2.20	52.50 ± 5.24
Pre_2	4.61 ± 1.72	52.29 ± 5.25
24_1	3.31 ± 1.03	56.38 ↓ ± 5.85
24_2	3.62 ± 1.09	56.97 ↓ ± 5.27
48_1	4.24 ± 2.28	55.98 ↓ ± 5.30
48_2	3.60 ± 1.72	55.81 ↓ ± 5.68
72_1	4.80 ± 2.15	55.88 ↓ ± 5.93
GRUPO CON		
Pre_0	4.60 ± 1.90	51.45 ± 4.38
Pre_1	4.89 ± 2.51	51.82 ± 4.51
Pre_2	4.63 ± 2.42	52.35 ± 4.40
24_1	4.25 ± 2.09	51.76 ± 4.11
24_2	3.64 ± 1.72	51.73 ± 4.40
48_1	3.95 ± 1.84	51.79 ± 4.11
48_2	3.90 ± 1.61	52.95 ± 4.54
72_1	4.57 ± 2.43	51.74 ± 4.27

Algometría VI: algometría del vasto interno; CON: grupo con tratamiento de simulación de presoterapia; DCH: pie derecho; IPC: grupo con tratamiento de presoterapia; IZQ: pie izquierdo. Perímetro VL: perímetro del vasto lateral; Pre_0: prueba realizada el primer día del estudio antes del EIMD; Pre_1: prueba realizada el primer día del estudio después del EIMD y antes de la sesión de IPC o simulación; Pre_2: prueba realizada el primer día del estudio después de la sesión de IPC o simulación; 24_1: prueba realizada a las 24h. antes de la sesión de IPC o simulación; 24_2: prueba realizada a las 24h. después de la sesión de IPC o simulación; 48_1: prueba realizada a las 48h. antes de la sesión de IPC o simulación; 48_2: prueba realizada a las 48h. después de la sesión de IPC o simulación; 72_1: única prueba realizada a las 72h. cuando no hay sesión de IPC o simulación.

Media ± Desviación Estándar

* $p < .05$ comparando las medidas de diferentes días, dentro de un mismo grupo de tratamiento.

↓ $p < 0.5$ comparando los dos tipos de tratamiento en el día señalado

6. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos y aunque casi en la totalidad de las variables estudiadas comprobamos que el tratamiento de IPC tiene un efecto significativo en comparación con el tratamiento de simulación, parecen contradecir nuestra hipótesis inicial. A continuación, se explicarán los resultados nuestras pruebas comparándolos con los resultados de otros artículos previos publicados hasta el momento.

La razón de utilizar la baropodometría como mecanismo de evaluación de la fatiga en este estudio, parte del cambio que se produce en la marcha de un deportista que sufre un daño muscular ocasionado por un ejercicio extenuante. Saldanha et al. (2008) concluyeron que existía una relación entre la fatiga central y la reducción de la fuerza del músculo flexor plantar. Es por ello que podemos suponer que al tener afectados estos músculos responsables de la pisada, la modificaremos, bien en la posición anatómica o bien durante la marcha dinámica, para que las presiones recaigan sobre músculos distintos. De esta manera, consideraremos el cambio de los valores iniciales tomados en el PRE, como un detonante de fatiga muscular, y la vuelta a esos valores basales en los últimos días del estudio, como la recuperación. Si esto sucediera únicamente en el grupo que recibió la presoterapia y por el contrario en el grupo control los valores a las 72 horas continuaran siendo diferentes a los del PRE, podríamos asociar la recuperación al tratamiento de IPC. Esto lo vamos a observar en la variable de RMS y RMSX para la pisada bipodálica, pues en el grupo control los valores irán descendiendo en el tiempo hasta presentar una diferencia significativa entre 72 horas y el PRE, mientras que el grupo IPC no se observan diferencias entre ningún día y los valores de 72h. se asemejan a los basales. Sin embargo, no se encontró ningún cambio significativo en el grupo control para ninguna otra variable, mientras que en el grupo IPC la longitud y la velocidad media de la prueba bipodálica y la velocidad media, delta Y y RMS de las monopodálicas derecha, sí modifican significativamente sus valores, lo que puede indicar un efecto trivial de la presoterapia en la recuperación de la fatiga. Por otro lado, sabemos según Nordin y Frankel, (2001), que la distribución promedia de las presiones en posición bipodálica es de un 60% en el talón 8% en el mediopié, 28% en el antepié, y un 4% en los dedos. En nuestro estudio observaremos con las pruebas de la estabilometría, únicamente en el grupo sometido a la presoterapia, un descenso de los valores de porcentaje del antepié y un aumento del porcentaje del retropié a lo largo de los días, es decir, ejercerán más presión con el talón que la estimada por Nordin y Frankel. Esto puede concordar con la teoría del cambio de presiones tras el ejercicio, pero no con la hipótesis de que la IPC ayuda a la recuperación y a la vuelta a los valores basales, ya que es precisamente

en el grupo de intervención donde se encuentran las diferencias. De igual manera sucedió con las pruebas monopodálicas en las que comparando los grupos siempre se obtuvieron peores resultados del comportamiento del centro de presiones en el grupo IPC y también en las de la marcha dinámica, donde la velocidad media es mayor en este grupo que en el control y además la superficie empeora tras la primera sesión de presoterapia. Este estudio que se presenta es el primero en utilizar este tipo de pruebas baropodométricas para el análisis de la fatiga muscular tras la sesión de presoterapia, sin embargo, existen muchos otros artículos anteriores que han utilizado otros mecanismos y con los que podemos comparar nuestros resultados, como es caso de Heapy et al. (2018) o el de Holffman et al. (2016) en los que se utilizaron escalas subjetivas de valoración (EVA), registrando valores menores en el grupo de intervención. Por otro lado, también son varios los estudios que han utilizado diferentes protocolos de ejercicios con los que comprobar la fatiga. Roberts et al. (2019) evalúa la potencia con una prueba de ciclismo y sí que encuentra valores más elevados en el grupo que se le aplica la presoterapia y concluye que puede tener efectos beneficios para el rendimiento del deportista el mismo día que se le aplica el tratamiento, que es lo mismo que sugiere Zelikovski et al. (1993) cuando dice que la IPC causó un 45% de mejora en la capacidad de los sujetos para realizar un posterior ejercicio de combate. Wiener et al. (2001) también registran una mayor potencia en las pruebas después de la presoterapia y junto a la reducción de agua y metabolitos en el músculo de la recuperación activa, se basan en ello para afirmar la efectividad de la IPC para el rendimiento deportivo justo después de la sesión. O'Donnell1 & Driller (2015) con las pruebas de 5 km contrarreloj, aunque el grupo IPC las realiza en unos 8 segundos menos, concluyen que no se trata de una diferencia significativa respecto al grupo control y que es un efecto trivial y no del tratamiento. Overmayer & Driller (2017) son más tajantes en sus resultados afirmando que la presoterapia no tiene una influencia en el rendimiento y que el valor significativo que obtienen en la frecuencia cardiaca al acabar la prueba, más alto para el grupo IPC que el control se debe a un efecto trivial, que es a la misma conclusión a la que llegan Valenzuela et al. (2018). En resumen, podemos decir que la presoterapia sí puede tener un efecto momentáneo justo después de su aplicación pero que su influencia en la recuperación a largo plazo es mínima.

En lo que a la variable de dolor se refiere, vimos con la algometría, que la presoterapia no provocó ningún cambio distinto al de simulación lo que indica que no podemos atribuir a este tratamiento, una reducción del dolor. Nuestros resultados concuerdan con estudios previos como es el caso de los publicados por Haun et al. (2017), donde tampoco encuentran diferencias para su medición con algometría entre los grupos que recibían un tratamiento de presoterapia y los que se les administraba la simulación. Sin embargo, esto puede ser contradicho por el

estudio de Sands et al. (2015), en el que encontraron que para que se produjera la transición de la sensación de presión a dolor, el grupo IPC necesitaba que se le aplicara valores mucho más altos de presión, en los momentos de medición correspondientes a antes y después de la presoterapia. Estas diferencias con el grupo control no se observan en la tercera medición, a las 8 horas, de manera que podemos asociar el primer dato a un efecto analgésico momentáneo de la presoterapia, o incluso considerarlo como un hecho aleatorio, ya que en el primer momento de medición, donde mayor es la diferencia, aún no se les ha aplicado el tratamiento de IPC a los sujetos. Otros estudios que también han medido el dolor, pero no con algometría, sino mediante escalas subjetivas, como por ejemplo el de Heapy et al. (2018) y Hoffman et al. (2016), no encontraron diferencias entre el grupo al que se le administraba la presoterapia y el que realizaba descanso pasivo. En estos estudios, existía un tercer grupo, el cual recibía un masaje terapéutico y que sí presentó diferencias respecto al que no recibía ningún tratamiento, de forma que podemos concluir que la sensación de recuperación se alcanzaba de manera más efectiva con el masaje. En el caso de Northey et al. (2016), el grupo al que se le aplicaba la presoterapia registró una mayor valoración subjetiva de la recuperación comparado con el que hacía un descanso pasivo, justo después de estos tratamientos, pero esto podemos asociarlo únicamente a la sensación subjetiva de placer tras el tratamiento de presoterapia. Con todo ello, concluimos que la IPC no parece tener un efecto real en la reducción del dolor provocado por la fatiga muscular.

Finalmente, en cuanto al perímetro del cuádriceps, se hace bastante notable el aumento del volumen muscular, únicamente en el grupo sometido a la presoterapia, por lo que podríamos pensar que el tratamiento provocó una mayor inflamación muscular. Sin embargo, es precisamente el resultado contrario el que encuentran estudios como los realizados por Hanson et al. (2013), Martin et al. (2015) o Roberts et al. (2019), en los que analizarán marcadores sanguíneos que nos aportan este tipo de información. Tanto Hanson (2013) como Martin (2015) encuentran menores valores de lactato en sangre en los grupos que recibían la presoterapia, comparados con los que no y también Roberts et al. (2019) concluyó que la variable con la que él estudió la inflamación muscular, la Inmunoglobulina A, descendía justo después del tratamiento con presoterapia. Sin embargo, Haun et al., en sus dos estudios publicados en 2017, obtienen valores más bajos de Antogin-1, 4-Hydroxynonenal o Poly-ubiquitinadas, todas ellas proteínas contráctiles (Passmore, L. A., & Barford, D., 2004), en el grupo IPC comparado con el control denotando un daño muscular que pudiera estar asociado al tratamiento recibido. Como estos resultados no son coincidentes ni concluyentes, se hace evidente la necesidad de continuar en esta línea de investigación y realizar más casos clínicos en los que se evalúen los

cambios, tanto de marcadores sanguíneos, como del perímetro muscular, ante un tratamiento de presoterapia.

Así mismo, resulta conveniente concluir esta discusión destacando los estudios de Cochrane et al. (2013), Marcello et al. (2019) y Martin et al. (2015), en los que después de la investigación y análisis de todas las variables establecidas, afirman que no existe ninguna diferencia entre el grupo que recibe el tratamiento de presoterapia y el grupo control, despojándole de todo posible beneficio al tratamiento de IPC.

Es por todo ello que afirmamos que nuestros hallazgos refutan nuestra hipótesis original.

7. CONCLUSIONES

Con el estudio realizado hemos podido comprobar que la presoterapia no tiene los efectos que en un principio habíamos planteado en la hipótesis. Nuestras principales limitaciones fueron el reducido número de la muestra que finalmente concluyó el estudio y la decisión de aventurarnos en la utilización de la baropodometría como prueba de medición de la fatiga muscular. Con todo ello hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- La presoterapia no tiene un efecto claro en la recuperación del daño muscular producido por un ejercicio excéntrico.
- No se encontraron mejoras del dolor muscular tras las sesiones de IPC.
- Es necesario continuar en esta línea de investigación comprobando los cambios musculares a través diferentes pruebas tras la sesión de presoterapia.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFP. (1985). Normes, Association Posture et Équilibre, France: Paris.
- Argus, C. K., Driller, M. W., Ebert, T. R., Martin, D. T., & Halson, S. L. (2013). The effects of 4 different recovery strategies on repeat sprint-cycling performance. *International journal of sports physiology and performance*, 8(5), 542-548.
- Bishop, P. A., Jones, E., & Woods, A. K. (2008). Recovery from training: a brief review: brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 1015-1024.
- Chen, A. H., Frangos, S. G., Kilaru, S., & Sumpio, B. E. (2001). Intermittent pneumatic compression devices—physiological mechanisms of action. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 21(5), 383-392.
- Cheung, K., Hume, P. A., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness. *Sports medicine*, 33(2), 145-164.
- Chleboun, G. S., Howell, J. N., Baker, H. L., Ballard, T. N., Graham, J. L., Hallman, H. L., ... & Conatser, R. R. (1995). Intermittent pneumatic compression effect on eccentric exercise-induced swelling, stiffness, and strength loss. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 76(8), 744-749.
- Cochrane, D. J., Booker, H. R., Mundel, T., & Barnes, M. J. (2013). Does intermittent pneumatic leg compression enhance muscle recovery after strenuous eccentric exercise?. *International journal of sports medicine*, 34(11), 969-974.
- Cook, C. J., & Beaven, C. M. (2013). Individual perception of recovery is related to subsequent sprint performance. *British journal of sports medicine*, 47(11), 705-709.
- Ernst, E. (1998). Does post-exercise massage treatment reduce delayed onset muscle soreness? A systematic review. *British journal of sports medicine*, 32(3), 212-214.
- Friedman, J. H., Brown, R. G., Comella, C., Garber, C. E., Krupp, L. B., Lou, J. S., ... & Taylor, C. B. (2007). Fatigue in Parkinson's disease: a review. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 22(3), 297-308.
- Hanson, E., Stetter, K., Li, R., & Thomas, A. (2013). An intermittent pneumatic compression device reduces blood lactate concentrations more effectively than passive recovery after Wingate testing. *of*, 4, 18-25.
- Haun, C. T., Roberts, M. D., Romero, M. A., Osburn, S. C., Healy, J. C., Moore, A. N., ... & Goodlett, M. D. (2017). Concomitant external pneumatic compression treatment with consecutive days of high intensity interval training reduces markers of proteolysis. *European journal of applied physiology*, 117(12), 2587-2600.

- Haun, C. T., Roberts, M. D., Romero, M. A., Osburn, S. C., Mobley, C. B., Anderson, R. G., ... & Martin, J. S. (2017). Does external pneumatic compression treatment between bouts of overreaching resistance training sessions exert differential effects on molecular signaling and performance-related variables compared to passive recovery? An exploratory study. *PloS one*, 12(6).
- Heapy, A. M., Hoffman, M. D., Verhagen, H. H., Thompson, S. W., Dhamija, P., Sandford, F. J., & Cooper, M. C. (2018). A randomized controlled trial of manual therapy and pneumatic compression for recovery from prolonged running—An extended study. *Research in Sports Medicine*, 26(3), 354-364.
- Hoffman, M. D., Badowski, N., Chin, J., & Stuempfle, K. J. (2016). A randomized controlled trial of massage and pneumatic compression for ultramarathon recovery. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 46(5), 320-326.
- Howatson, G., & Van Someren, K. A. (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports medicine*, 38(6), 483-503.
- Kendall, B., Walsh, N. P., Worth, S., Walters, R., Bishop, N., & Eston, R. (2003). The effect of exercise-induced muscle damage on neutrophil function.
- Kephart, W. C., Mobley, C. B., Fox, C. D., Pascoe, D. D., Sefton, J. M., Wilson, T. J., ... & Martin, J. S. (2015). A single bout of whole-leg, peristaltic pulse external pneumatic compression upregulates PGC-1 α mRNA and endothelial nitric oxide synthase protein in human skeletal muscle tissue. *Experimental physiology*, 100(7), 852-864.
- Laurent, C. M., Green, J. M., Bishop, P. A., Sjøkvist, J., Schumacker, R. E., Richardson, M. T., & Curtner-Smith, M. (2011). A practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(3), 620-628.
- Marcello, R. T., Fortini, L., & Greer, B. K. (2019). Intermittent Pneumatic Compression Boot Use Elevates Blood Lactate During Subsequent Exercise. *International journal of exercise science*, 12(2), 385.
- Marcora, S. M., & Bosio, A. (2007). Effect of exercise-induced muscle damage on endurance running performance in humans. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17(6), 662-671.
- Marginson, V. F. & Eston, R. G., (2002). Symptoms of exercise-induced muscle damage in boys and men following two bouts of eighty plyometric jumps. *The Journal of Physiology*, 539, 75-75.

- Martin, J. S., Friedenreich, Z. D., Borges, A. R., & Roberts, M. D. (2015). Acute effects of peristaltic pneumatic compression on repeated anaerobic exercise performance and blood lactate clearance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(10), 2900-2906.
- Martin, J. S., Kephart, W. C., Haun, C. T., McCloskey, A. E., Shake, J. J., Mobley, C. B., ... & Roberts, M. D. (2016). Impact of external pneumatic compression target inflation pressure on transcriptome-wide RNA expression in skeletal muscle. *Physiological reports*, 4(22), e13029.
- McCormack, H. M., David, J. D. L., & Sheather, S. (1988). Clinical applications of visual analogue scales: a critical review. *Psychological medicine*, 18(4), 1007-1019.
- Myers, J., & Ashley, E. (1997). Dangerous curves: a perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest*, 111(3), 787-795.
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2013). Recovery in soccer. *Sports medicine*, 43(1), 9-22.
- Nordin, M., & Frankel, V. H. (Eds.). (2001). *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. Lippincott Williams & Wilkins.
- O'Donnell, S., & Driller, M. W. (2015). The effect of intermittent sequential pneumatic compression on recovery between exercise bouts in well-trained triathletes. *Journal of Science and Cycling*, 4(3), 19.
- Overmayer, R. G., & Driller, M. W. (2017). Pneumatic compression fails to improve performance recovery in trained cyclists. *International journal of sports physiology and performance*, 13(4), 490-495.
- Panic, N., Leoncini, E., De Belvis, G., Ricciardi, W., & Boccia, S. (2013). Evaluation of the endorsement of the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis (PRISMA) statement on the quality of published systematic review and meta-analyses. *PLoS ONE* 8(12): e83138.
- Passmore, L. A., & Barford, D. (2004). Getting into position: the catalytic mechanisms of protein ubiquitylation. *Biochemical Journal*, 379(3), 513-525.
- Roberts, L. A., Caia, J., James, L. P., Scott, T. J., & Kelly, V. G. (2019). Effects of External Counterpulsation on Postexercise Recovery in Elite Rugby League Players. *International journal of sports physiology and performance*, 14(10), 1350-1356.
- Ruhe, A., Fejer, R., & Walker, B. (2010). The test–retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions—a systematic review of the literature. *Gait & posture*, 32(4), 436-445.

- Saldanha, A., Nordlund Ekblom, M. M., & Thorstensson, A. (2008). Central fatigue affects plantar flexor strength after prolonged running. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18(3), 383-388.
- Sands, W. A., McNeal, J. R., Murray, S. R., & Stone, M. H. (2015). Dynamic compression enhances pressure-to-pain threshold in elite athlete recovery: exploratory study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1263-1272.
- Santos, L., Fernández-Río, J., Fernández-García, B., & Jakobsen, M. D. (2014). The effects of supervised Slackline Training on postural balance in judoists. *Med Sport*, 67(4), 539-553.
- Tanner, R. K., Fuller, K. L., & Ross, M. L. (2010). Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *European journal of applied physiology*, 109(3), 551-559.
- Twist, C., & Eston, R. (2005). The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *European journal of applied physiology*, 94(5-6), 652-658.
- Vaile, J., O'Hagan, C., Stefanovic, B., Walker, M., Gill, N., & Askew, C. D. (2011). Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *British journal of sports medicine*, 45(10), 825-829.
- Valenzuela, P. L., Sánchez-Martínez, G., Torrontegi, E., Montalvo, Z., Lucia, A., & de la Villa, P. (2018). Enhanced external counterpulsation and short-term recovery from high-intensity interval training. *International journal of sports physiology and performance*, 13(8), 1100-1106.
- Webb, N. P., Harris, N. K., Cronin, J. B., & Walker, C. (2013). The relative efficacy of three recovery modalities after professional rugby league matches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2449-2455.
- Weerapong, P., Hume, P. A., & Kolt, G. S. (2005). The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports medicine*, 35(3), 235-256.
- Wiener, A., Mizrahi, J., & Verbitsky, O. (2001). Enhancement of tibialis anterior recovery by intermittent sequential pneumatic compression of the legs. *BAM-PADOVA-*, 11(2), 87-90.

– Zelikovski, A., Kaye, C. L., Fink, G., Spitzer, S. A., & Shapiro, Y. (1993). The effects of the modified intermittent sequential pneumatic device (MISPD) on exercise performance following an exhaustive exercise bout. *British journal of sports medicine*, 27(4), 255-259.