

LA INMERSIÓN EN AGUA FRÍA NO REDUCE LOS MARCADORES DE DAÑO MUSCULAR EN NADADORES

IMMERSION IN COLD WATER DOES NOT REDUCE
MARKERS OF MUSCLE DAMAGE IN SWIMMERS

EFEITO DA IMERSÃO EM ÁGUA FRIA
SOBRE OS MARCADORES DE DANO MUSCULAR
(CK; LDH) DEVIDOS AO EXERCÍCIO EXCÊNTRICO
EM NADADORES DE MEDELLIN

Yeimer Andres Sanclemente¹
Juan Carlos Giraldo²

- 1 Magíster en Fisiología. Universidad Nacional de Colombia. Licenciado en Educación Física. Universidad de Antioquia. Grupo de Investigación en Actividad Física y Salud (SIAFYS). E-mail: yasanclamentea@unal.edu.co
- 2 Especialista en Medicina Aplicada a la Actividad Física y al Deporte. Médico y Cirujano. Universidad de Antioquia. Grupo de Investigación en Actividad Física y Salud (SIAFYS). Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Facultad de Educación física, Recreación y Deporte. E-mail: juangiraldo@elpoli.edu.co

Sanclemente, Y. A. & Giraldo, J. G. (2019). La inmersión en agua fría no reduce los marcadores de daño muscular en nadadores. *Educación Física y Deporte*, 38(1), 163-184. Ene.-Jun. <http://doi.org/10.17533/udea.efyd.v38n1a07>

10.17533/udea.efyd.v38n1a07

URL DOI: <http://doi.org/10.17533/udea.efyd.v38n1a07>

Artículo de investigación

RESUMEN

Objetivo: determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular inducidos por el ejercicio excéntrico. **Metodología:** estudio cuasi-experimental, con 15 hombres nadadores, 10 en el grupo de tratamiento y 5 en el grupo control. Luego del protocolo excéntrico, con 2 series de 10 repeticiones en extensión de rodilla, el grupo de tratamiento tuvo 15 minutos de inmersión en agua fría, a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el grupo control tuvo 15 minutos de inmersión en agua termo-neutra, a $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. **Las variables (CK, LDH, salto vertical, potencia y percepción del dolor) se registraron a las 24, 48 y 72 horas posteriores a la intervención. Resultados:** la inmersión en agua fría no tiene efectos estadísticamente significativos en la reducción de los marcadores de daño muscular.

PALABRAS CLAVE: Ejercicio excéntrico, Daño muscular, Inmersión en agua fría.

RESUMO

Objetivo: Determinar o efeito da imersão em água fria sobre os marcadores de dano muscular induzido por exercício excêntrico. **Metodologia:** Estudo quase experimental, 15 homens nadadores, 10 no grupo de tratamento e 5 no grupo de controle. Após o protocolo excêntrico (2 séries de 10 repetições na extensão do joelho), o grupo de tratamento teve 15 minutos de imersão em água fria a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o grupo controle teve 15 minutos de imersão em água termo-neutra a $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. **As variáveis (CK, LDH, salto vertical, potência e percepção da dor) foram registradas nas 24, 48 e 72 horas após a intervenção. Resultados:** A imersão em água fria não tem efeitos estatisticamente significativos na redução dos marcadores de dano muscular.

PALAVRAS-CHAVES: Exercício excêntrico; dano muscular; imersão em água fria.

ABSTRACT

Objective: To determine the effect of immersion in cold water on markers of muscle damage induced by eccentric exercise. **Methodology:** Quasi-experimental study, with 15 male swimmers, 10 in the treatment group and 5 in the control group. After the eccentric protocol, with 2 series of 10 repetitions in knee extension, the treatment group had 15 minutes of immersion in cold water, at $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the control group had

15 minutes of immersion in thermoneutral water, at $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. The variables (CK, LDH, vertical jump, power and pain perception) were recorded at 24, 48 and 72 hours after the intervention. **Results:** Immersion in cold water has no statistically significant effects in reducing markers of muscle damage.

KEYWORDS: Eccentric exercise; muscle damage; immersion in cold water.

INTRODUCCIÓN

El dolor muscular tardío (delayed onset muscle soreness) es un malestar que se presenta durante 24 a 72 horas en personas que no están acostumbradas a realizar ejercicio excéntrico, como descargar peso de forma controlada, correr colina abajo, saltos, etc. (López & Fernández, 2007; Ranchordas et al., 2017; Xie et al., 2018). También se manifiesta en deportistas de nivel recreativo y elite que están desacostumbrados a las cargas excéntricas. Este tipo de dolor es causado por un daño muscular que se hace evidente cuando aumenta la concentración de enzimas y proteínas musculares (creatinquinasa, lactato deshidrogenasa, mioglobina, etc.) en sangre, ya que en condiciones normales estas enzimas y proteínas no pueden atravesar el sarcolema debido a su tamaño. Su aparición en sangre se debe a una ruptura de la membrana muscular (Cheung et al., 2003). El dolor muscular tardío está acompañado de una serie de signos y síntomas tales como la disminución del rango de movimiento articular, inflamación, rigidez y pérdida de la fuerza, especialmente en las fibras de contracción rápida (Hight et al., 2017; Romain et al., 2017; Sellwood et al., 2007) assessed via dEMG, concomitant to the RBE. METHODS Nine participants performed 5 sub-maximal isometric trapezoid (ramp-up, hold, ramp-down).

En un intento por minimizar los síntomas y signos de este dolor, los deportistas, entrenadores y profesionales de la salud han recurrido a una variedad de terapias físicas como la crioterapia, el masaje, la técnica de ultrasonido y la terapia de corriente eléctrica (Cheung et al., 2003; Connolly et al., 2003). En el campo de la medicina deportiva se ha utilizado mucho la crioterapia en la modalidad de inmersión en agua fría. Este tipo de terapias se usa con la intención de reducir la temperatura del tejido lesionado, generar una constricción de los vasos sanguíneos locales, buscar una reducción de la respuestas inflamatorias, y generar un bloqueo transitorio de las señales de dolor, dando como re-

sultado un efecto analgésico (Calvo & Garcés, 2003; Hohenauer et al., 2017; Hüter-Becker, 2005; Juan, 2003).

En la ciudad de Medellín-Colombia hay escasa información sobre los efectos de la inmersión del agua fría en deportistas locales, especialmente en nadadores. Por esta razón, el presente estudio tiene relevancia académica, ya que aporta evidencia científica respecto a la efectividad de dicho tratamiento en la recuperación deportiva.

Según Versey et al. (2013), diferentes investigaciones informan que la inmersión en agua fría puede mejorar la recuperación del rendimiento físico en diferentes modalidades deportivas, donde la inmersión en agua a 10-15 °C durante 5-15 minutos, parece ser el esquema de tratamiento más efectivo para la recuperación del atleta (Machado et al., 2016). Por tal motivo, en este estudio se utilizó un tratamiento de 15 minutos de inmersión en agua fría, a 15 °C \pm 1 °C (Versey et al., 2013), con el objetivo de determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK, LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

METODOLOGÍA

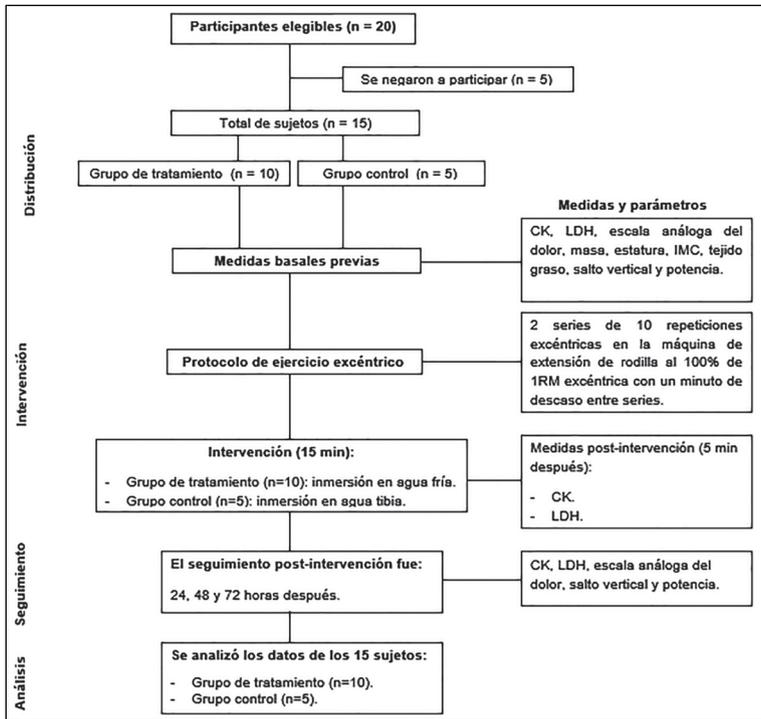
1. Diseño

Estudio con diseño cuasi-experimental, con método de muestreo no probabilístico por conveniencia.

2. Participantes

Participaron 15 nadadores de la *Liga de Natación de Antioquia*. Los criterios de inclusión fueron: hombres deportistas de 17 a 30 años, que no consuman medicamentos, ni presenten discapacidad física o mental. Los criterios de exclusión fueron: presentar lesiones osteo-musculares, enfermedades cardiovasculares, intolerancia al frío, dificultades para percibir el frío, no haber firmado

y entregado el consentimiento informado. Los 15 participantes registraron un nivel de actividad física alto, según el cuestionario internacional de actividad física, versión corta. La distribución de los sujetos se muestra en la figura 1.



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Medidas antropométricas

El peso se expresó en kilogramos y se valoró con una báscula Detecto (DET 339, Colombia). La estatura se midió en metros en un tallímetro Kramer (Estados Unidos), el porcentaje de grasa

y masa muscular se calculó por medio de una báscula de bioimpedancia (Tanita. Modelo: BC-601F, Japón). Estas medidas sólo se tomaron antes de la intervención.

3.2. Marcadores de daño muscular

En un recipiente tubular de 5 ml se deposita sangre extraída de la fosa antecubital del codo, antes de cada intervención de ejercicio excéntrico, cinco minutos después de la recuperación y posteriormente a las 24, 48 y 72 horas después de la intervención, con el fin de determinar la cantidad de creatinquinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH) que se encuentra en sangre como respuesta al daño muscular (Vaile et al., 2008). Ambas enzimas (CK y LDH) se conservaron de 2 a 8 °C, las muestras fueron estudiadas en un analizador químico Cobas C 311 de marca Roche/Hitachi. Este procedimiento se realizó con radiación ultravioleta.

3.3. Test funcional

La potencia muscular se evaluó con el salto vertical contramovimiento (Counter Movement Jump), sobre un tapete digital AXON JUMP® (Axon Bioingeniería Deportiva, Buenos Aires, Argentina) y el programa Axon Jump 4.0 calculó la altura y tiempo de vuelo del sujeto (Mora, 2010). Esta prueba funcional se realizó antes de la intervención con ejercicio excéntrico, a las 24, 48 y 72 horas después de la intervención (Vieira et al., 2016).

3.4. Potencia muscular

Para estimar la potencia muscular utilizada en el salto vertical antes de la intervención con ejercicio excéntrico, a las 24, 48 y 72 horas después de la intervención, se empleó la fórmula de L. W. Sargent (1924), de gran importancia porque a partir de variables como la masa del sujeto, y la altura del salto vertical, se puede estimar la potencia muscular del individuo. La fórmula es (Billat, 2002; Haff & Dumke, 2012; Hoffman, 2006):

$$P \text{ (kgm/s)} = \sqrt{g/2} \times \text{masa} \times \sqrt{h}$$

Donde:

g = la gravedad = 9,81 m/s². —

masa = masa del sujeto en kg.

h = la altura alcanzada en metros.

3.5. Test de percepción de dolor

La escala análoga visual está enumerada de 0 a 10 puntos, donde: 0= sin dolor, 1-3= dolor débil, 4-6= dolor moderado, 7-9= dolor severo y 10= intensidad del dolor insoportable). El participante se debe sentar y poner de pie inmediatamente, y después indicar la puntuación en la escala análoga visual. El test se realizó antes de la intervención con ejercicio excéntrico, y luego de ella a las 24, 48 y 72 horas (Costa et al., 2012; Machado et al., 2016; Sellwood et al., 2007; Vaile et al., 2008).

2. Intervención

2.1. Protocolos de inmersión

Los participantes se sumergieron en una bañera hasta que el agua llegó a la altura de las crestas ilíacas. La temperatura de las piscinas se controló por medio de termómetros de mercurio. El grupo de tratamiento realizó 15 minutos de inmersión en agua fría a 15 °C ± 1 °C (Leeder et al., 2015; Machado et al., 2016; Vaile et al., 2008; Versey et al., 2013). El grupo control tuvo 15 minutos de inmersión en agua termoneutra a 32 °C ± 1 °C.

2.2. Prueba de una repetición máxima

La repetición máxima (1RM) se llevó a cabo justo antes de la intervención, y se realizó con el máximo esfuerzo de la fase excéntrica de la musculatura extensora de rodilla o cuádriceps, integrado por los músculos recto femoral, vasto medial, vasto lateral y vasto intermedio (López & Fernández, 2007; Neme et

al., 2013). La 1RM se realizó mediante un ejercicio de cadena cinética cerrada, en una máquina de musculación de extensión de rodilla donde el sujeto se encuentra sentado y todo su cuerpo mantiene una postura fija, excepto la articulación de la rodilla, que hace el descargue del peso en la fase excéntrica. La 1RM se determinó de forma directa a través del método piramidal con carga progresiva, hasta llegar al máximo peso movilizado en una sola repetición, con descanso de 3 a 5 minutos entre cada intento (Neme et al., 2013).

2.3. Protocolo de ejercicio excéntrico

Los participantes realizaron 2 series de 10 repeticiones excéntricas en la máquina de extensión de rodilla al 100% de 1RM excéntrica, con un minuto de descanso entre series. Dos voluntarios hicieron la fase concéntrica del movimiento (Bompa, 2006; Neme et al., 2013).

2.4. Procedimiento

15 hombres nadadores se distribuyeron en grupo tratamiento (n=10) y grupo control (n=5), por orden de llegada, conformando el grupo de tratamiento los 10 primeros nadadores, y los 5 últimos el grupo control, en una distribución no aleatoria. Después de realizar el protocolo excéntrico, el grupo de tratamiento realizó 15 minutos de inmersión en agua fría a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Versey et al., 2013), y el grupo control tuvo 15 minutos de inmersión en agua termoneutra a $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. En ambos grupos se realizó el seguimiento de las variables (CK, LDH, salto vertical, potencia y percepción del dolor) en las 24, 48 y 72 horas posteriores a la intervención.

La Tabla 1, muestra los valores iniciales de las variables estudiadas. Se observa que solo la variable estatura y salto vertical presentan diferencias estadísticamente significativas entre el grupo tratamiento y el grupo control.

Tabla 1. Características de los participantes

Variables	Grupo tratamiento (n=10)	Grupo control (n=5)	Valor -p
Edad (años)	19 (18 – 23)	22 (19 – 25)	0.194
Tiempo práctica (años)	9.5 (8 – 15)	7 (4 – 8)	0.137
Peso (kg)	70.5 (61,4 – 79,8)	67.5 (60.1 -74.5)	0.540
Estatura (m)	1.77 (1.76 – 1.81)	1.73 (1.72- 1.74)	- 0.023
IMC (kg/m ²)	21.9 (20.2 – 23.3)	22.8 (21.2 – 24.3)	0.270
Tejido grasa (%)	16.7 (14.4 – 20.4)	16.3 (12.7 – 21)	0.841
CK inicial (U/L)	215 (165 – 231)	198 (190 – 231)	0.951
LDH inicial (U/L)	188 (181 – 203)	174 (169 – 186)	0.244
Escala de Dolor inicial (0-10)	0 (0 – 0)	0 (0 – 0.5)	0.157
Salto Vertical inicial (cm)	42.9 (39.9 – 45.3)	35.3 (33.1 – 40.1)	- 0.023
Potencia inicial (watt)	971 (862 – 1112)	859 (745 – 1007)	0.270

IMC, Índice de masa corporal. **CK**, Creatinquinasa. **LDH**, Lactato deshidrogenasa. -, Valores que indican significancia estadística.

3. Consideraciones éticas

En la investigación se tuvo en cuenta la Resolución 8430 de 1993, expedida por el Ministerio de Salud de la República de Colombia, en la que se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud; la Resolución 2378 de 2008, del Ministerio de la Protección Social, por la cual se adoptan las Buenas Prácticas Clínicas para las instituciones que conducen investigación con medicamentos en seres humanos; la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial – Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos; y, por último, la Pautas éticas internacionales para la investigación relacionada con la salud con seres humanos, del Consejo de Organizaciones Internacionales de las Cien-

cias Médicas. El Comité de Ética aprobó las consideraciones de este estudio.

4. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico no paramétrico, con el programa SPSS versión 21 para Windows; se utilizó la Prueba U de Mann-Whitney (versión no paramétrica de la prueba t de student), para hacer un análisis intergrupar en las variables de edad, tiempo de práctica, peso, estatura, IMC, tejido graso, CK, LDH, escala del dolor, salto vertical y potencia antes de la intervención. Luego, se empleó la Prueba de Wilcoxon para analizar la variable de CK y LDH, tanto en el grupo de tratamiento como en el grupo control, específicamente antes y 5 minutos después de la intervención. Posteriormente, se aplicó la Prueba U de Mann-Whitney para las variables de CK, LDH, escala de dolor, salto vertical y potencia, analizados a las 24, 48 y 72 horas después de la intervención, tanto en el grupo de tratamiento, como en el grupo control. Finalmente, se realizó la Prueba de Wilcoxon para comparar cada variable en el mismo grupo, pero en diferentes tiempos (24-48, 24-72, 48-72). Los valores se expresaron con medianas y rangos intercuartílicos, con un valor de $p < 0.05$.

RESULTADOS

En el análisis intragrupal, se observan diferencias estadísticamente significativas en la variable CK, al inicio (valor $p = 0.005$) y a los 5 minutos después de la intervención (valor $p = 0.039$) en ambos grupos (Tabla 2). **Nótese un aumento en dichas medidas. Con relación al LDH, no se encuentran** diferencias estadísticamente significativas, indicando que la variable se comporta igual, tanto en el grupo de tratamiento como en el grupo control, en ambos momentos.

Tabla 2. Marcadores de daño muscular (CK; LDH) antes y 5 minutos después de la intervención

	Variables	Antes	Después	Valor -p
Grupo tratamiento	CK (U/L)	215 (165 – 231)	240 (195 – 263)	- 0.005
	LDH (U/L)	188 (181 – 203)	191 (171 – 206)	0.575
Grupo control	CK (U/L)	198 (190 – 231)	222 (215 – 256)	- 0.039
	LDH (U/L)	174 (169 – 186)	173 (160 – 191)	0.500

-, Valores que indican significancia estadística.

1. Creatinquinasa (CK)

El análisis intragrupal indica que el grupo de tratamiento presenta dos diferencias estadísticamente significativas: la primera se muestra en la comparación de 24 y 48 horas, con un valor de p de 0.037; la segunda se encuentra en la comparación de 24 y 72 horas, también con un valor de p de 0.037, presentando ambos casos reducción de la CK. Por otro lado, el grupo control no tuvo diferencia estadísticamente significativa en las diferentes comparaciones (24-48, 24-72, 48-72).

La CK presenta valores más altos en el grupo de tratamiento que en el grupo control (Tabla 3), pero esto no representa diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Tabla 3. Creatinquinasa

Variable (unidad de medida)	Grupo tratamiento (n=10)	Grupo control (n=5)	Valor -p
CK (U/L) a las 24 horas	416 (224 – 931)	234 (208 – 237)	0.220
CK (U/L) a las 48 horas	372 (215 – 781)	194 (159 – 342)	0.178
CK (U/L) a las 72 horas	323 (182 – 770)	182 (148 -278)	0.244

CK, Creatinquinasa.

2. Lactato deshidrogenasa (LDH)

El análisis intragrupal señala que, tanto el grupo de tratamiento como el grupo control, no presentan diferencias estadística-

mente significativas en ninguna de las comparaciones realizadas (24-48, 24-72, 48-72). La variable de LDH tiene cifras más altas en el grupo de tratamiento, que en el grupo control (Tabla 4), aunque no muestra diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Tabla 4. Lactato deshidrogenasa

Variable (unidad de medida)	Grupo tratamiento (n=10)	Grupo control (n=5)	Valor -p
LDH (U/L) a las 24 horas	188 (175 – 207)	180 (153 – 187)	0.221
LDH (U/L) a las 48 horas	194 (186 – 218)	180 (166 – 190)	0.141
LDH (U/L) a las 72 horas	190 (168 – 218)	170 (155 – 178)	0.142

LDH, Lactato deshidrogenasa.

3. Salto vertical

El análisis intragrupal indica que, tanto el grupo de tratamiento como el grupo control, no presentan diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las comparaciones realizadas (24-48, 24-72, 48-72). El salto vertical presenta valores más altos en el grupo de tratamiento que en el grupo control (Tabla 5); en este caso, sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos a las 24 horas, con un valor de p de 0.023, y a las 72 horas con un valor de p de 0.048.

Tabla 5. Salto vertical

Variable (unidad de medida)	Grupo tratamiento (n=10)	Grupo control (n=5)	Valor -p
Salto vertical (cm) a las 24 horas	42.9 (40.4 – 45.3)	35.3 (35.2 – 39.6)	- 0.023
Salto vertical (cm) a las 48 horas	42.3 (39.1 – 45.3)	36.3 (36.3 – 39.6)	0.108
Salto vertical (cm) a las 72 horas	42.9 (39.6 – 44.1)	37.4 (34.2 – 38.5)	- 0.048

-, Valores que indican significancia estadística.

4. Potencia

En el análisis intragrupal, tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas en las comparaciones realizadas (24-48, 24-72, 48-72). La variable de potencia tiene cifras más altas en el grupo de tratamiento que en el grupo control (Tabla 6), lo cual no representa diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Tabla 6. Potencia

Variable (unidad de medida)	Grupo tratamiento (n=10)	Grupo control (n=5)	Valor -p
Potencia (watt) a las 24 horas	971 (891 – 1090)	859 (784 – 1001)	0.327
Potencia (watt) a las 48 horas	953 (795 – 1134)	871 (784 – 1001)	0.327
Potencia (watt) a las 72 horas	981 (871 – 1121)	846 (761 – 975)	0.221

5. Escala análoga del dolor

El análisis intergrupalo, señala que ambos grupos no tienen diferencias estadísticamente significativas a las 24, 48 y 72 horas. Sin embargo, el análisis intragrupal muestra dos diferencias estadísticamente significativas en el grupo de tratamiento. La primera, en la comparación 24-48 horas, con un valor de p de 0.014, debido a que los participantes reportaron a las 24 horas una mediana de 0, que representa ningún tipo dolor, y a las 48 horas reportaron una mediana de 1, que significa dolor leve. La segunda diferencia estadísticamente significativa se registró en la comparación 24-72 horas, con un valor de p de 0.016, en este caso, la mediana reportada fue 1, que corresponde a dolor leve. Es importante mencionar que en el grupo control no se observan diferencias estadísticamente significativas en las comparaciones realizadas (24-48, 24-72, 48-72).

DISCUSIÓN

El análisis intergrupar indica que no existen diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) en las variables de CK, LDH, escala del dolor y potencia. Solo la variable de salto vertical presenta diferencias estadísticamente significativas a las 24 y 72 horas, donde el grupo de tratamiento saltó más alto que el grupo control, señalando que esta diferencia ya estaba reportada antes de la intervención. Los resultados del estudio indican que la inmersión en agua fría no tiene un efecto estadísticamente significativo en la reducción de los marcadores de daño muscular (CK; LDH) en el grupo intervenido.

En esta investigación se analizó la CK y el LDH como únicos indicadores de daño muscular, ya que son los marcadores más comunes en este tipo de estudios, pero los resultados muestran que ambos marcadores biológicos tienen comportamientos distintos frente a la misma carga de ejercicio excéntrico, dado que la variación de CK y LDH intrasujeto tienen proporciones distintas, teniendo más concentración de CK que de LDH. En este estudio no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los marcadores CK y LDH. Por esta razón, se recomienda utilizar más de dos marcadores de daño muscular, con el fin de evidenciar los efectos del protocolo excéntrico y del tratamiento de recuperación, que en este caso es la inmersión en agua fría.

En la literatura actual se encuentran posiciones divididas con respecto a la inmersión en agua fría. Algunos autores defienden su uso, como método efectivo para la recuperación muscular (Machado et al., 2016; Roberts et al., 2014; Rossato et al., 2015; Sánchez et al., 2015), mientras otros indican que no existe efecto positivo en la reducción de los signos y síntomas del dolor muscular tardío (Chow et al., 2015; Glasgow et al., 2014; Hohenauer et al., 2015; Murray & Cardinale, 2015; Takeda et al., 2014).

Rossato et al. (2015) reportan efectos positivos en la reducción de molestias musculares, en un estudio con 10 sujetos, quienes hicieron carreras cuesta abajo con una pendiente de -6% y posteriormente fueron asignados aleatoriamente a la sesión de crioterapia, con inmersión en agua fría a $15 \pm 1^\circ\text{C}$). Las variables analizadas fueron los marcadores de daño muscular (CK, LDH, Calcio) y la percepción del dolor muscular, con la escala análoga para el dolor, registradas antes, 24 y 48 horas después del ejercicio excéntrico. Los resultados mostraron una reducción significativa del dolor muscular, y además se evidenció una recuperación homeostática de los marcadores de daño muscular (Rossato et al., 2015).

Otra investigación reciente que demuestra los efectos positivos del tratamiento con frío, fue realizada por Roberts et al. (2014), en un estudio aleatorio cruzado en el que se analizó el efecto de la inmersión en agua fría en la recuperación muscular luego de hacer ejercicios de resistencia de alta intensidad. La muestra fue de 10 hombres físicamente activos, quienes realizaron 1 hora de entrenamiento de resistencia de alta intensidad, y posteriormente se dirigieron a la inmersión en agua fría a 10°C o a la recuperación activa de baja intensidad. En el estudio se tomaron muestras de sangre, temperatura muscular, circunferencia de la pierna, dolor muscular y función muscular. Los resultados del estudio indican que la inmersión en agua fría, luego del ejercicio de resistencia, permite a los sujetos realizar más trabajo en los próximos entrenamientos (Roberts et al., 2014).

Ambas investigaciones defienden el uso de la inmersión en agua fría, pues a raíz de sus hallazgos, destacan su efectividad para contrarrestar las molestias ocasionadas por el dolor muscular tardío. Este método de recuperación ha sido investigado ampliamente, al punto de encontrar en la actualidad una gran variedad de protocolos de inmersión en agua fría realizados en diferentes poblaciones y modalidades deportivas. Sin embargo, estos estudios arrojan resultados contradictorios, por lo que no

existe un consenso claro sobre su efectividad. Por esta razón se revisaron las publicaciones de revisiones sistemáticas y meta-análisis, para una mayor claridad al respecto. Sánchez et al. (2015) publicaron un meta-análisis con 11 estudios publicados entre 1998-2013, concluyendo que las inmersiones en agua fría tienen un efecto positivo y moderado en los procesos de recuperación. Por su parte, Machado et al. (2016) realizaron un estudio con el objetivo de comprobar la eficacia de la inmersión en agua fría en el proceso de recuperación muscular, comparado con la recuperación pasiva. El estudio determinó que la inmersión en agua fría es un poco mejor que la recuperación pasiva en el manejo del dolor muscular, señalando la relación dosis respuesta, pues la temperatura del agua debe estar entre 11 a 15°C y la duración de la inmersión debe estar entre 11 a 15 minutos, indicando que los protocolos de inmersión con estas características darían mejores resultados (Machado et al., 2016).

Aunque en los estudios mencionados se presentan evidencias científicas en apoyo al uso de la inmersión en agua fría para la recuperación física de los atletas, por otro lado también se encuentran estudios que no le atribuyen efectos benéficos a este método. Por ejemplo, Glasgow et al. (2014) reportan resultados contrarios a los estudios citados. Su investigación fue un ensayo aleatorizado, cuyo propósito fue comparar el efecto de 4 tipos de protocolos de inmersión en agua fría: corto (1 minuto a 38°C/1 minuto 10°C x 3), corto intermitente (1 minuto x 3 a 10°C, 10 minutos a 10°C, 10 minutos a 6°C); o grupo control. Participaron 50 sujetos, 32 hombres y 18 mujeres. Las variables del estudio fueron: rango de movimiento activo, dolor de estiramiento, dolor muscular, fuerza muscular y CK. Las variables se midieron antes y 24, 48, 72 y 96 horas después de la intervención. La investigación concluye que los cambios en la duración, temperatura o frecuencia de inmersión en agua fría post-ejercicio tiene un efecto mínimo sobre los signos y síntomas del dolor muscular tardío (Glasgow et al., 2014).

Takeda et al. (2018) presentan resultados similares en un estudio con 20 hombres, con el objetivo de analizar el efecto de la inmersión en agua fría después de un partido de 80 minutos. La investigación tuvo un diseño cruzado, con asignación aleatoria de la inmersión en agua fría y recuperación pasiva. Las variables fueron la potencia muscular y los marcadores de daño muscular (aspartato aminotransferasa, LDH, CK, y creatinina), tomados antes del partido, inmediatamente después de la recuperación, y 24 horas después. Los investigadores concluyen que el partido de rugby sí reduce la función muscular y produce daño muscular, pero afirman que la inmersión en agua fría no tiene efecto significativo en la recuperación muscular después de un partido de 80 minutos (Takeda et al., 2014).

Murray & Cardinale (2015) tampoco hallan efectos positivos en un meta-análisis realizado con el objetivo de establecer la efectividad de los tratamientos con frío para la recuperación de deportistas adolescentes. La investigación sugiere que se necesitan más estudios y mejor evidencia para determinar su eficacia en esta población. Asimismo, Chow et al. (2015) revisaron de forma exhaustiva investigaciones que estudian el efecto de la inmersión en agua fría en la recuperación post-ejercicio, estableciendo que en la literatura analizada se determina que no hay efectos positivos en el rendimiento, por lo que se sugieren investigar más al respecto. De igual modo, Hohenauer et al. (2015) realizan una revisión sistemática con el objetivo de determinar los efectos de los diferentes tratamientos con frío, comparados con los tratamientos no refrigerantes, señalando que, al parecer, los métodos de enfriamiento no tienen efectos significativos sobre las características objetivas como los marcadores de daño muscular y las citoquinas en periodos de recuperación de 96 horas.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que no hay un consenso internacional sobre la eficacia de la inmersión en agua fría en la reducción de los signos y síntomas del dolor muscular tardío. Debido a que los múltiples estudios tienen características

diferentes en tamaño de muestra, tipo de población, protocolo de ejercicio excéntrico y protocolo de inmersión, de igual modo se recomienda hacer nuevos estudios al respecto, buscando mejorar la calidad de la evidencia científica, y de este modo determinar la eficacia de la inmersión en agua fría.

Finalmente, para los diseños metodológicos de investigaciones futuras sobre el tema, es importante dar a conocer las limitaciones del presente estudio, con el objetivo de obtener mejor evidencia científica al respecto. Las limitaciones fueron:

- No se calculó el tamaño de la muestra para población finita.
- Los grupos se conformaron y los tratamientos se asignaron en orden de llegada por motivos logísticos (para garantizar la temperatura del agua).
- El tiempo de práctica deportiva de los nadadores fue muy heterogénea.
- Los nadadores no suspendieron las sesiones de entrenamiento.

CONCLUSIONES

- El estudio indica que la inmersión en agua fría no tiene un efecto estadísticamente significativo en la reducción de los marcadores de daño muscular.
- El protocolo de ejercicio excéntrico no tuvo efecto significativo sobre la percepción del dolor muscular, el CK y el LDH.
- Solo se analizaron dos marcadores de daño muscular, a las 24, 48 y 72 horas, y ninguno de los dos marcadores presentaron diferencias estadísticamente significativas en ambos grupos. Por tal motivo, es necesario incluir otro tipo de marcadores, que permitan comprender la magnitud de la lesión muscular.

REFERENCIAS

1. Asociación Médica Mundial (2013). *Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial – Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos*. Disponible en <https://www.wma.net/es/politicas-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
2. Billat, V. (2002). *Fisiología y metodología del entrenamiento. De la teoría a la práctica*. Editorial Paidotribo.
3. Bompa, T. (2006). *Periodización del entrenamiento deportivo*. Editorial Paidotribo.
4. Calvo, J., & Garcés, E. (2003). *Fisioterapia deportiva: técnicas físicas*. Editorial Gymnos.
5. Cheung, K., Hume, P., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness. *Sports Medicine*, 33(2), 145-164.
6. Chow, G., Fong, S., Chung, J., & Macfarlane, D. (2015). Post-exercise cold water immersion on sports performance recovery: A review. *Journal of Sports Research*, 2(2), 37-51.
7. Connolly, D., Sayers, S., & Mchugh, M. (2003). Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 197-208.
8. Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (2017). *Pautas éticas internacionales para la investigación relacionada con la salud con seres humanos*. Disponible en https://cioms.ch/wp-content/uploads/2017/12/CIOMS-EthicalGuideline_SP_INTERIOR-FINAL.pdf
9. Costa, W., Brito, C., Andrade, E., Nardelli, C., Lacerda, E., Prado, M., & Franchini, E. (2012). Cryotherapy post-training reduces muscle damage markers in jiu-jitsu fighters. *Journal of Human Sport and Exercise*, 7(3), 629-638.
10. Glasgow, P., Ferris, R., & Bleakley, C. (2014). Cold water immersion in the management of delayed-onset muscle soreness: Is dose important? A randomised controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 15(4), 228-233.
11. Haff, G., & Dumke, C. (2012). *Laboratory manual for exercise physiology*. Human Kinetics.
12. Hight, R., Beck, T., Bembem, D., & Black, C. (2017). Adaptations in antagonist co-activation: Role in the repeated-bout effect. *Plos One*, 12(12), e0189323. doi: 10.1371/Journal.Pone.0189323
13. Hoffman, J. (2006). *Norms for fitness performance, and health*. Human Kinetics.
14. Hohenauer, E., Clarys, P., Baeyens, J., & Clijisen, R. (2017). Non-invasive assessments of subjective and objective recovery characteristics

- following an exhaustive jump protocol video link. *JoVE Journal of Visualized Experiments*, 124, e55612.
15. Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J., Clarys, P., & Clijsen, R. (2015). The effect of post-exercise cryotherapy on recovery characteristics: A systematic review and meta-analysis. *Plos One*, 10(9), e0139028.
 16. Hüter-Becker, A. (2005). *La rehabilitación en el deporte*. Editorial Paidotribo.
 17. Juan, P. (2003). *Analgesia por medios físicos*. Editorial McGraw-Hill Interamericana
 18. Leeder, J., van Someren, K., Bell, P., Spence, J., Jewell, A., Gaze, D., & Howatson, G. (2015). Effects of seated and standing cold water immersion on recovery from repeated sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 33(15), 1544-1552. doi: 10.1080/02640414.2014.996914
 19. López, J., & Fernández, A. (2007). *Fisiología del ejercicio*. Editorial Médica Panamericana.
 20. Machado, A., Ferreira, P., Micheletti, J., de Almeida, A., Lemes, Í., Vanderlei, F., ... Pastre, C. (2016). Can water temperature and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle soreness? A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(4), 503-514.
 21. Ministerio de la Protección Social de Colombia. *Resolución 2378 de 2008, por la cual se adoptan las Buenas Prácticas Clínicas para las instituciones que conducen investigación con medicamentos en seres humanos*. El Ministerio.
 22. Ministerio de Salud de la República de Colombia. *Resolución 8430 de 1993, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud*. El Ministerio.
 23. Mora, R. (2010). *Fisiología del deporte y el ejercicio: prácticas de campo y laboratorio*. Editorial Médica Panamericana.
 24. Murray, A., & Cardinale, M. (2015). Cold applications for recovery in adolescent athletes: A systematic review and meta-analysis. *Extreme Physiology & Medicine*, 4(1), 1-15.
 25. Neme, B., Alessandro, L., Brenzikofer, R., & Macedo, D. (2013). Time course of muscle damage and inflammatory responses to resistance training with eccentric overload in trained individuals. *Mediators of Inflammation*, 204942.
 26. Ranchordas, M., Rogerson, D., Soltani, H., & Costello, J. (2017). Antioxidants for preventing and reducing muscle soreness after exercise. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12. doi: 10.1002/14651858.Cd009789.Pub2
 27. Roberts, L., Nosaka, K., Coombes, J., & Peake, J. (2014). Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after

- resistance exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 307(8), r998-r1008.
28. Romain, C., Freitas, T., Martínez, F., Laurent, C., Gaillet, S., Chung, L., ... Cases, J. (2017). Supplementation with a Polyphenol-Rich Extract, Tensless®, attenuates delayed onset muscle soreness and improves muscle recovery from damages after eccentric exercise. *Phytotherapy Research*, 31(11), 1739-1746. doi: 10.1002/Ptr.5902
 29. Rossato, M., de Souza, E., da Silva, D., Santana, T., Malezam, W., & Carpes, F. (2015). Effects of cryotherapy on muscle damage markers and perception of delayed onset muscle soreness after downhill running: A pilot study. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 8(2), 49-53.
 30. Sánchez, B., Barrantes, K., Ureña, P., Calleja, J., & Ostojic, S. (2015). Effect of water immersion on recovery from fatigue: A meta-analysis. *European Journal of Human Movement*, 34, 1-14.
 31. Sargent, L. W. (1924). Some observations on the Sargent test of neuromuscular efficiency. *American Physical Education Review*, 29(2), 47-56.
 32. Sellwood, K., Brukner, P., Williams, D., Nicol, A., & Hinman, R. (2007). Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: A randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 392-397.
 33. Takeda, M., Sato, T., Hasegawa, T., Shintaku, H., Kato, H., Yamaguchi, Y., & Radak, Z. (2014). The effects of cold water immersion after rugby training on muscle power and biochemical markers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(3), 616-623.
 34. Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 447-455. doi: 10.1007/S00421-007-0605-6
 35. Versey, N., Halson, S., & Dawson, B. (2013). Water immersion recovery for athletes: Effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Medicine*, 43(11), 1101-1130.
 36. Vieira, A., Siqueira, A., Ferreira, J., do Carmo, J., Durigan, J., Blazeovich, A., & Bottaro, M. (2016). The effect of water temperature during cold-water immersion on recovery from exercise-induced muscle damage. *International Journal of Sports Medicine*, 37(12), 937-943. doi: 10.1055/S-0042-111438
 37. Xie, Y., Feng, B., Chen, K., Andersen, L., Page, P., & Wang, Y. (2018). The efficacy of dynamic contract-relax stretching on delayed-onset muscle soreness among healthy individuals: A randomized clinical trial. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 28(1), 28-36. doi: 10.1097/Jsm.0000000000000442