

Efectividad de la crioterapia en la recuperación musculoesquelética de los artistas marciales: Revisión sistemática

Effectiveness of cryotherapy in the musculoskeletal recovery of martial artists: Systematic review

Eduardo Jódar Llinás, Yolanda Castellote Caballero

Universidad de Jaén (España)

Resumen. La recuperación de los artistas marciales mediante la inmersión del cuerpo en agua fría es un método muy utilizado para el restablecimiento de la condición física y la mejora del rendimiento. Objetivo: examinar y agrupar, de forma crítica, las principales evidencias científicas disponibles en la actualidad sobre la efectividad de la crioterapia en la recuperación de los artistas marciales. Materiales y métodos: la búsqueda se llevó a cabo en las bases de datos Pubmed, PEDro, Scielo, Scopus y Google Scholar con las palabras clave "Cryotherapy", "Muscle fatigue", "Martial arts" y "MMA". Tras la búsqueda bibliográfica se seleccionaron siete artículos en total para la revisión. Las principales variables analizadas fueron: marcadores de daño y fatiga muscular, percepción de fatiga, potencia de miembros superiores y potencia de miembros inferiores. *Resultados:* Todos los estudios cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión y fueron clasificados en el grupo de crioterapia vs recuperación pasiva. Conclusión: existe una evidencia sólida sobre la efectividad de la crioterapia en la disminución del dolor percibido en artistas marciales. También existe una evidencia moderada de la efectividad de la crioterapia en la disminución de la concentración de ácido láctico (LDH), creatina quinasa (CK), cortisol y neopterin y en la recuperación de la fuerza.

Palabras clave: Crioterapia, Fatiga muscular, Artes marciales, MMA, Dolor.

Abstract. Recovery of martial artists by immersing their body in cold water has been a widely used method for restoring physical fitness and improving performance. Objective: to critically examine and group the main scientific evidence currently available on the effectiveness of cryotherapy in the recovery of martial artists. Materials and methods: the search was carried out in the databases Pubmed, PEDro, Scielo, Scopus and Google Scholar with the keywords "Cryotherapy", "Muscle fatigue", "Martial arts" and "MMA". After the literature search, a total of seven items were chosen for the review. The main variables analyzed were markers of muscle damage and fatigue, perception of fatigue, upper limb power and lower limb power. Results: All studies met the inclusion and exclusion criteria and were classified in the cryotherapy vs passive recovery group. Conclusion: There is strong evidence for the effectiveness of cryotherapy in decreasing perceived pain in martial artists. There is also moderate evidence for the effectiveness of cryotherapy in decreasing lactic acid (LDH), creatine kinase (CK), cortisol and neopterin concentration and in strength recovery.

Key words: Cryotherapy, Muscle fatigue, Martial arts, MMA, Pain.

Fecha recepción: 09-11-23. Fecha de aceptación: 28-02-24

Eduardo Jódar Llinás

ejl00007@red.ujaen.es

Introducción

Las artes marciales son un conjunto de movimientos, técnicas y destrezas que sirven para combatir cuerpo a cuerpo. Entre las artes marciales, las más destacadas son el taekwondo, boxeo, kárate, judo, jiu-jitsu, muay thai, lucha grecorromana y, en combinación de varias artes marciales existen otras, como son el kick boxing o las artes marciales mixtas (MMA).

En estas especialidades, a nivel deportivo, existe un gran espectáculo asociado al seguimiento de los competidores. Por ello, el mantenerse en buena forma física en las fechas importantes es un aspecto muy importante, así que los luchadores tendrán que tener en cuenta tanto los entrenamientos como los procesos de recuperación para poder reducir al máximo la fatiga muscular que les impedirá rendir al máximo.

La fatiga es la incapacidad transitoria para generar fuerza (Hernández-Cruz et al., 2022), y los síntomas asociados a la esta pueden ser: dolor muscular y articular, sensación de cansancio y agotamiento, molestias y dolor generalizado, falta de coordinación y de fuerza y un aumento del ritmo cardiaco (Sara, 2022). Sin embargo, estos síntomas se pueden abarcar desde la prevención y diversos métodos de recuperación. Uno de los distintos métodos de recuperación existentes es la crioterapia, que consiste en

la aplicación de frío como agente físico externo sobre el organismo con un fin terapéutico. El agua fría provoca vasoconstricción, es decir, el estrechamiento de los vasos sanguíneos. Después, cuando la inmersión en agua fría termina, se eleva la temperatura basal, lo que produce una vasodilatación de los vasos que provoca un torrente de sangre que acude a las extremidades, ayuda a eliminar toxinas y aporta nutrientes a los tejidos al mismo tiempo que sirve para reducir la inflamación (Landow, 2017). Exponer al cuerpo, o a una parte de este, a temperaturas bajas, tiene diversos efectos en las respuestas fisiológicas que adopta el organismo para adaptarse (Wilcock et al., 2006). Estas respuestas fisiológicas son:

Se produce una reducción de la permeabilidad celular, de los vasos linfáticos y de los capilares debido a la vasoconstricción producida, lo que provoca una reducción de la difusión en el espacio intersticial (Wilcock et al., 2006). Al disminuir la temperatura del agua, se reduce la frecuencia cardiaca, lo que conlleva a una disminución del gasto cardiaco. También produce un incremento de la presión arterial y resistencia periférica. Este aumento de resistencia periférica se debe a que la sangre se redirige desde los vasos periféricos para mantener la temperatura corporal (Wilcock et al., 2006; P. Šrámek et al., 2000; Park et al., 1999).

Aumenta la actividad del sistema nervioso simpático, ya que se producen unas respuestas adaptativas al estrés, como son: aumento de la noradrenalina, de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca. Además, produce un aumento de

dopamina (Banfiet al., 2010;P. Šrámek et al., 2000). Reduce la temperatura intramuscular, lo que impide el aumento de daños secundarios durante el mayor tiempo posible después del ejercicio o de una lesión (Kwicien & McHugh, 2021).

Aumento del umbral del dolor y tolerancia al dolor, asociado a una disminución en la velocidad de conducción nerviosa (Algaflly et al., 2007).

Genera una reducción del dolor, la crioterapia genera analgesia ya que causa alteraciones vasculares que generan una reducción de la producción de mediadores inflamatorios. Estos mediadores inflamatorios son: la proteína C reactiva y la neopterinina. También se asocia a una disminución de la temperatura intramuscular y la hipertonia muscular (Kunkle et al., 2021; ENWEMEKA et al., 2002).

También se ha identificado un notable descenso de algunas citocinas proinflamatorias como son: interleucina-1 beta (IL-1 β), IL-2, IL-3, IL-8 y factor de necrosis tumoral-alfa (TNF- α) (Kunkle et al., 2021; Banfi et al., 2010).

La crioterapia se puede aplicar directamente sobre la piel o mediante aerosoles. La forma más extendida entre la población de usar la crioterapia es mediante bolsas de hielo o bolsas de gel frío. También se puede aplicar mediante las inmersiones parciales en bañeras o la inmersión del cuerpo entero en bañeras de hielo (Kunkle et al., 2021). Sin embargo, también se puede sumergir el cuerpo en cámaras de aire frío, que emiten el aire entre -110°C y -140°C durante dos o tres minutos, lo que parece tener una mayor efectividad (Fonda et al., 2014; Zalewski et al., 2013). Otra forma de aplicación de crioterapia es mediante dispositivos que están conectados a un aparato de refrigeración externo que circula agua fría a través de un conducto específico al paciente (Kunkle et al., 2021).

Recuperación musculoesquelética

Existen diversos parámetros de los cuales podemos obtener datos para evaluar el daño que se ha producido en el tejido y la fatiga se ha producido, entre ellos, están los marcadores inflamatorios. También es una referencia a tener en cuenta el dolor muscular de origen tardío, conocido comúnmente como agujetas. A continuación, se enumeran los principales parámetros:

Ácido láctico o lactato (LDH): es un producto de la glucólisis que se da en los músculos durante la práctica deportiva para la obtención de energía y está relacionada con el aumento de la intensidad del ejercicio (Hernández-Cruz et

al., 2022; John E. Hall et al., 2021). La acumulación de lactato provoca una acidosis muscular, disminuyendo el rendimiento físico. Esto provoca una afectación al mecanismo de contracción muscular (*Mundoentrenamiento*, 2023). Una concentración en sangre mayor de 4mmol/L se considera el paso de una carga de trabajo moderada a una más intensa (Santos-Concejero et al., 2015).

Creatina quinasa (CK): es una enzima intracelular que mide el daño en el tejido cardíaco y esquelético. En sujetos sanos, el aumento en sangre de esta enzima sugiere un daño en el tejido muscular como consecuencia de una actividad intensa. Esto se debe tanto a causas mecánicas como a metabólicas (Hernández-Cruz et al., 2022; Brancaccio et al., 2007)

Macrófagos: cuando ocurre una lesión o daño tisular, se liberan sustancias que aumentan la permeabilidad de los tejidos y aumentan el flujo sanguíneo, motivo por el cual se liberan líquidos y sustancias hacia el espacio intersticial, ocurriendo una tumefacción local. A este proceso se le denomina inflamación. Para contener la inflamación, los macrófagos comienzan de inmediato sus acciones fagocitarias (John E. Hall & Michael E. Hall, 2021)

Neopterinina: es un marcador que refleja la respuesta de los macrófagos a la inflamación, aumentando cuando se producen alteraciones relaciones con la activación del sistema inmune. Mide el nivel de inflamación, ya sea producida por un traumatismo, una infección o hasta una bacteria (Gieseg et al., 2018; Gil-Gómez et al., 2017; Melichar et al., 2017).

Salto contra movimiento (CMJ): es un salto vertical que pretende alcanzar la máxima altura posible realizando una flexión-extensión de los miembros inferiores lo más rápida posible, por lo tanto, es una medida de la potencia de los miembros inferiores (Fernández-Galván et al., 2024;Kons et al., 2018). Su disminución sirve como medida para comprobar la presencia de fatiga.

Para objetivar la presencia de fatiga lo máximo posible, se necesitan mediciones de estos parámetros antes y después del ejercicio, pasadas unas horas y pasados pocos días para que sirvan como guía para valorar el daño o la fatiga que se ha producido en el tejido.

Material y métodos

Para facilitar la transparencia de la revisión sistemática, se ha realizado una lista PRISMA (Page et al., 2021) resumida en la Tabla 1.

Tabla 1.

Lista PRISMA

Tema	No.	Ítem	¿Reportado?
Título			
Título	1	Identifique el informe o publicación como una revisión sistemática.	Sí
Antecedentes			
Objetivos	2	Proporcione una declaración explícita de los principales objetivos o preguntas que aborda la revisión.	Sí
Métodos			
Criterios de elegibilidad	3	Especifique los criterios de inclusión y exclusión de la revisión.	Sí
Fuentes de información	4	Especifique las fuentes de información (por ejemplo, bases de datos, registros) utilizadas para identificar los estudios y la fecha de la última búsqueda en cada una de estas fuentes.	Sí
Riesgo de sesgo de los estudios individuales	5	Especifique los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales incluidos.	Sí

Tabla 1.

Lista PRISMA

Tema	No.	Ítem	¿Reportado?
Síntesis de los resultados	6	Especifique los métodos utilizados para presentar y sintetizar los resultados.	Sí
Resultados			
Estudios incluidos	7	Proporcione el número total de estudios incluidos y de participantes y resuma las características relevantes de los estudios.	Sí
Síntesis de los resultados	8	Presente los resultados de los desenlaces principales e indique, preferiblemente, el número de estudios incluidos y los participantes en cada uno de ellos. Si se ha realizado un metaanálisis, indique el estimador de resumen y el intervalo de confianza o de credibilidad. Si se comparan grupos, describa la dirección del efecto (por ejemplo, que grupo se ha visto favorecido).	Sí
Discusión			
Limitaciones de la evidencia	9	Proporcione un breve resumen de las limitaciones de la evidencia incluida en la revisión (por ejemplo, riesgo de sesgo, inconsistencia –heterogeneidad– e imprecisión).	Sí
Interpretación	10	Proporcione una interpretación general de los resultados y sus implicaciones importantes.	Sí
Otros			
Financiación	11	Especifique la fuente principal de financiación de la revisión.	No
Registro	12	Proporcione el nombre y el número de registro.	No

Resumen de la lista PRISMA.

Objetivo

El objetivo de esta revisión es examinar y agrupar de forma crítica las principales evidencias científicas disponibles en la actualidad sobre la efectividad de la crioterapia en la recuperación de los artistas marciales. De este modo, se pretende encontrar y contrastar los beneficios que tiene la crioterapia en este tipo de población, basándonos en los criterios clínicos y en los estudios más actualizados hasta el momento.

Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica fue realizada en las bases de datos PubMed, Scopus, PEDro, SCIELO y Google Scholar desde noviembre de 2022 hasta febrero de 2023. Fueron escogidas estas bases de datos debido a la gran cantidad de evidencia de calidad que incluyen.

Se consultó la terminología adecuada para cada uno de los términos en *Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS)* y *Medical Subject Headings (MeSH)* para obtener los términos exactos y posibles sinónimos. Las palabras clave utilizadas fueron: “*Cryotherapy*”, “*Muscle fatigue*”, “*Martial arts*” y “*MMA*”. Estas palabras fueron unidas mediante el operador “AND” entre sí y “OR” para el uso de los sinónimos adecuados.

Criterios de inclusión

Se seleccionaron estudios que cumplieran los siguientes criterios de inclusión: tipo de estudio: ensayos clínicos aleatorizados y estudios piloto; tipo de intervención: crioterapia; artículos publicados en cualquier fecha; idioma de publicación: inglés o español; sujetos: pacientes de ambos sexos, mayores de 18 años y que practiquen artes marciales; calidad del estudio ≥ 5 en escala PEDro.

Criterios de exclusión

No se analizaron estudios en los que se incluían deportistas de modalidades distintas a las artes marciales ni ensayos clínicos en los que la crioterapia no era un otro método de tratamiento. Tampoco se incluyeron estudios en los que el grupo control no mantuviera un método de recuperación ni aquellos en los que no hubo una definición correcta de las variables de estudio.

Evaluación de la calidad metodológica de los estudios

La calidad de los artículos seleccionados para la revisión fue evaluada utilizando dos escalas específicas para la evaluación de la calidad metodológica de ensayos clínicos de intervenciones en fisioterapia: la escala PEDro y la escala Jadad. Ambas escalas fueron escogidas debido a su evaluación objetiva y precisa de la metodología y la calidad de los estudios.

La escala Pedro se usó por ser una herramienta muy utilizada en la evaluación de la calidad metodológica de los ensayos clínicos de fisioterapia, ya que hace posible valorar la calidad de cada estudio. Esta escala está compuesta de 11 ítems y se diseñó inicialmente para calificar la calidad de los ensayos clínicos de la base de datos “*Physiotherapy Evidence Database*” o PEDro (Maher et al., 2003).

Es una escala compuesta por 11 ítems que abarcan tanto la validez externa (ítem 1), como la validez interna (ítems 2-9) y el informe estadístico (ítems 10 y 11). Cada uno de los 11 apartados de la escala es puntuado como sí (1) o no (0). La puntuación total es la suma de los valores obtenidos en cada uno de los ítems comprendidos entre el 2 y el 11, pudiendo ser un número entre 0 y 10. Se considera que se ha obtenido una puntuación *excelente* cuando el artículo está calificado por un 9 o un 10, una puntuación *bueno* cuando la calificación es entre 6 y 8, una puntuación *justa* cuando es un 4 o un 5 y *pobre* cuando es < 4 (Cashin & McAuley, 2020).

Para la valoración de los artículos de esta revisión se ha hecho una lectura completa de cada uno de ellos. La máxima valoración obtenida ha sido de 8 y la mínima ha sido de 5.

También se valoró la calidad metodológica de cada ensayo clínico bajo el criterio de la escala Jadad. La escala Jadad es una herramienta muy útil para la evaluación de la calidad metodológica de un ensayo clínico. Esta escala está compuesta por cinco ítems en los que se valoran aspectos relacionados con la aleatorización del estudio, el cegamiento de los pacientes y del investigador y el seguimiento de los sujetos durante el estudio. Para la cuantificación, habrá que indicar si se cumple o no el apartado en cuestión, en caso de que se cumpla se sumaría un punto al total, siendo el máximo cinco puntos. Sin embargo, en esta escala

también se resta puntuación si para el primer apartado el método de aleatorización es inadecuado y si para el segundo apartado el estudio se describe como doble ciego, pero el método de cegamiento es inadecuado (Jadad et al., 1996). La puntuación varía de 0 (débil) a 5 (bueno) (Cascaes da Silva et al., 2013).

Para la valoración de los artículos de esta revisión se ha hecho una lectura completa de cada uno de ellos. La máxima valoración obtenida ha sido de 3 y la mínima ha sido de 1.

El análisis de la calidad metodológica fue realizado por un investigador.

Resultados

Selección de artículos

Tras una detallada búsqueda de información en cuatro bases de datos (Pubmed, PEDro, Scopus y Scielo), se encontraron un total de 2274 artículos relacionados con el tema elegido para realizar esta revisión. Tras aplicar los criterios de inclusión se mantuvo la cifra de 1227 artículos, de los cuales eran válidos cuatro artículos para la revisión. Como se encontraron pocos artículos, se redirigió la búsqueda a Google Scholar, donde se encontraron 56730. Aplicando los criterios de inclusión, se redujo la cifra a 38403, de los cuales se seleccionaron tres.

De esta forma, la cifra de artículos válidos para la revisión aumentó a siete. El proceso ha sido resumido en la Figura 1.

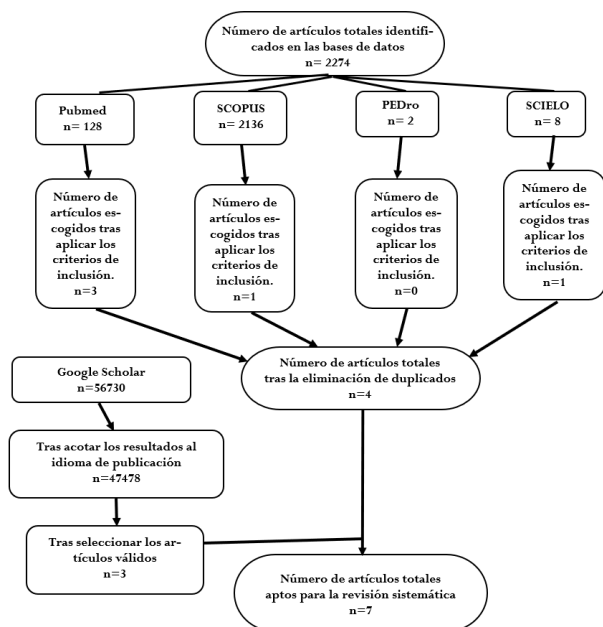


Figura 1. Diagrama de flujo.

En la base de datos PubMed se localizaron un total un total de 128 artículos, de los cuales 65 correspondían a la búsqueda con los términos “Cryotherapy AND muscle fatigue”, seis a “Cryotherapy AND martial arts”, tres a “Cryotherapy AND MMA”, 53 a “Martial arts AND muscle fatigue” y uno a “Cryotherapy AND martial arts AND muscle fatigue”. De los 128 artículos encontrados, solo tres se

ajustaron completamente a los criterios de inclusión que se emplearon en la búsqueda, siendo elegidos para la revisión. Los 125 restantes fueron eliminados de la revisión porque no cumplían con los criterios de inclusión.

En la base de datos Scopus se localizaron un total de 2136, de los cuales: 1519 correspondían a “Cryotherapy AND muscle fatigue”, 47 a “Cryotherapy AND martial arts”, 57 a “Cryotherapy AND MMA”, 487 a “Martial arts AND muscle fatigue” y 26 a “Cryotherapy AND martial arts AND muscle fatigue”. De la búsqueda realizada en esta base de datos solo se ajustó uno de ellos a los criterios establecidos para la revisión. Los demás fueron eliminados por no tratar sobre el tema establecido o por no concordar con los criterios de inclusión establecidos.

En la base de datos PEDro se localizaron un total de dos artículos que se encontraron con la cadena de búsqueda: “Cryotherapy AND Muscle fatigue”. Ninguno de los artículos encontrados se ajustó al tema establecido ni a los criterios de inclusión.

En la base de datos Scielo se encontraron un total de ocho artículos, de los cuales dos se correspondían a la cadena de búsqueda “Cryotherapy AND muscle fatigue”, dos a “Cryotherapy AND martial arts”, y tres a “Martial arts AND muscle fatigue”. De estos artículos solo uno se ajustó a los criterios de inclusión, sin embargo, fue el mismo que se encontró en Scopus. Los demás artículos se descartaron por no cumplir con los criterios de inclusión.

En Google Scholar se encontraron un total de 56730 resultados, acotando los resultados por el idioma de publicación (inglés y español) se redujo la cifra a 47478 artículos de los cuales 15800 correspondían a “Cryotherapy AND muscle fatigue”, 968 a “Cryotherapy AND martial arts”, 11700 a “Cryotherapy AND MMA”, 17800 a “Martial arts AND muscle fatigue” y 1210 a “Cryotherapy AND martial arts AND muscle fatigue”. Se seleccionaron cuatro artículos que aparentemente eran válidos para la revisión, pero uno de ellos tenía una calificación de cuatro en la escala PEDro, cumpliendo con las características establecidas un total de tres artículos.

En total, se sumaron de siete artículos para realizar la revisión.

Calidad metodológica de los estudios

Tomando como criterio la escala de puntuación PEDro, hay seis artículos con una puntuación entre 6/10 y 8/10, evaluado como una calidad metodológica buena y un artículo con una puntuación de 5/10, evaluado como una calidad metodológica justa. Un total de seis artículos tienen buena calidad metodológica, teniendo en cuenta que la revisión cuenta con siete artículos, quiere decir que esta consta de una calidad bastante buena. En la Tabla 2 se muestra la puntuación en cada criterio de cada artículo que contiene esta revisión sistemática en la escala PEDro, siendo el valor máximo 8 y el mínimo 5.

Tomando como criterio la escala Jadad, hay tres artículos con una puntuación de 3/5, evaluado como una calidad metodológica buena y cuatro artículos con una puntuación de

1/5, siendo la calidad metodológica justa. La mitad de los artículos cuentan con una calidad metodológica buena y la otra mitad con una calidad metodológica justa.

En la Tabla 3 se muestra la puntuación en cada criterio de cada artículo de esta revisión en la escala Jadad, siendo el valor máximo tres y el valor mínimo cinco.

Tabla 2.
Escala PEDro

Estudios	Asignación aleatoria	Asignación oculta	Homogeneidad de los grupos al inicio	Cegamiento de los sujetos	Cegamiento de los terapeutas	Cegamiento de los evaluadores	Seguimiento adecuado	Análisis por intención de tratar	Comparación de resultados entre grupos	Medidas puntuales y de variabilidad	Puntuación (Sobre 10)
Fonseca et al., 2016	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	8
Lindsay et al., 2017	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	8
Medeiros et al., 2022	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	5
Santos et al., 2012	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	8
Lindsay et al., 2015	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7
Brito et al., 2014	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	8
Tabben et al., 2018	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	8

La máxima puntuación obtenida ha sido un 8 y la mínima ha sido de 5.

Tabla 3.
Escala Jadad

Estudios	¿El estudio se describe como randomizado?	¿Se describe el método utilizado para generar la secuencia de randomización y este método es adecuado?	¿El estudio se describe como doble ciego?	¿Se describe el método de cegamiento y es adecuado?	¿Hay una descripción de las pérdidas de seguimiento y abandono?	Puntuación (sobre 5)
Fonseca et al., 2016	SÍ	NO	NO	NO	SI	1
Lindsay et al., 2017	SI	SI	NO	NO	SI	3
Medeiros et al., 2022	SI	SI	NO	NO	SI	3
Santos et al., 2012	SI	NO	NO	NO	SI	1
Lindsay et al., 2015	SI	SI	NO	NO	SI	3
Brito et al., 2014	SI	NO	NO	NO	SI	1
Tabben et al., 2018	SI	NO	NO	NO	SI	1

La máxima puntuación obtenida ha sido un 3 y la mínima ha sido de 1.

Síntesis de resultados

Tipo de población

En los siete estudios de esta revisión sistemática los 81 sujetos que han participado eran practicantes de artes marciales, 54 practicantes de MMA y 27 competidores de jiu-jitsu. La población presentaba una edad media de $25,74 \pm 2,25$ años, siendo en su mayoría varones. Todos constaban con experiencia en la competición o varios años de entrenamiento.

Variables de estudio e instrumentos de medida

Marcadores de daño muscular: niveles de creatinofosfoquinasa (CK) y de lactato deshidrogenasa o ácido láctico (LDH) y los niveles de mioglobina en orina. De forma secundaria, se abordaron otros marcadores de daño muscular, estos fueron los niveles de aspartato aminotransferasa (AST) y de alanina aminotransferasa (ALT). Como instrumento y herramienta de medida se tomaron muestras y análisis de sangre mediante la extracción de sangre de una vena superficial, en la mayoría de los casos la vena cubital, para evaluar los cambios en las concentraciones de CK, LDH, AST y ALT. La mioglobina en orina fue medida mediante una cromatografía líquida de alto rendimiento en fase inversa (RP-

HPLC) que integra una medida alternativa a la medición del daño muscular inducido por el ejercicio (Lindsay, Carr, Draper, et al., 2015).

Marcadores de inflamación y estrés oxidativo: siendo, respectivamente, la neopterina en orina y la neopterina total (neopterina + 7,8dihydroneopterina). Para su medición se usó una nueva técnica cromatográfica basada en el intercambio fuerte de cationes (SCX), validada y tomada como nueva forma de medir la neopterina urinaria y la neopterina total (Lindsay et al., 2014). Después de esta medición fue transferida a un vial que registra la muestra para el análisis de neopterina por cromatografía líquida de alta resolución (Lindsay, Carr, Draper, et al., 2015).

Medidas subjetivas: se hicieron mediciones del dolor y fatiga muscular percibido, así como de la recuperación percibida, el esfuerzo percibido y el bienestar.

El dolor muscular percibido se midió mediante la Escala Visual Analógica (EVA) o *Visual Analog Scale (VAS)*. Consiste en una línea de 10 cm donde el paciente marca en qué punto cree que se encuentra su dolor, este es leve si el paciente puntúa el dolor como menor de 3, moderado si la valoración se sitúa entre 4 y 7 y severo si la valoración es igual o superior a 8. Las escalas visuales analógicas han demostrado

ser útiles para la evaluación de la intensidad del dolor. (De et al., 2006).

La recuperación percibida se midió mediante la escala de percepción del estado de recuperación o *Perceived Recovery Status (PRS) scale*. Se explica a los sujetos que en una escala EVA de 10cm, tienen que marcar un valor entre 0 y 10, siendo el 0 “no recuperado del todo”, el 5 “moderadamente recuperado” y el 10 “muy recuperado”. Esta escala es muy útil para medir la recuperación el día a día. (Laurent et al., 2011).

El esfuerzo percibido fue medido mediante el índice o escala de Borg, que consiste en una escala del 0 al 10 en su versión más simple, en la que el 0 significaría que no se está haciendo nada de esfuerzo y el 10 el máximo esfuerzo posible en ese momento. (Borg, 1982).

El índice de bienestar de Hooper, mide de forma subjetiva el estado de fatiga, estrés, dolor muscular de origen tardío y calidad de sueño. Sirve para llevar un correcto seguimiento del estado de bienestar de los atletas (Hooper et al., 1995).

Potencia muscular: se midió la potencia muscular en miembros superiores e inferiores mediante diferentes pruebas físicas. La potencia de los miembros superiores mediante un test usando una barra en posición supina y un codificador unido a sus cinturones. Sirve para evaluar la potencia de empuje de los miembros superiores. Se realizaron tres repeticiones y se seleccionó el mejor resultado para el análisis. Por otra parte, también se realizó el Judogi Hand-grip Test, que consiste en una prueba de fuerza isométrica y dinámica mediante la realización de ejercicios de fuerza estática y dinámica sujetando un kimono envuelto alrededor de una barra horizontal con el codo flexionado (Franchini et al., 2011). La potencia de los miembros inferiores mediante el salto contra movimiento en una plataforma de salto. Sirve para evaluar la potencia de salida de los músculos extensores de las piernas (Bosco et al., 1983). Se escogió el mejor de dos intentos. También se evaluó la fuerza explosiva mediante el salto desde sentadilla. El sprint de 10m se midió en una pista de 20m, y los tiempos de sprint se registraron de forma automática mediante células fotoeléctricas tele-métricas colocada a 0,7m del suelo con el dispositivo Race-time 2, Microgate®.

Recuperación cardiaca: se hicieron mediciones de la recuperación cardiaca mediante la monitorización de la frecuencia cardiaca, la cual se midió mediante un software Polar (*Polar Precision Performance SW5.20, Polar Electro, Kempele, Finland*). Por otra parte, el índice de recuperación de la frecuencia cardiaca en reposo fue calculado mediante la siguiente fórmula, $RHR\ 60\text{-}s\ recovery\ index = HR\ peak - HR\ 60\text{-}s\ after\ physical\ exercise$, donde RHR es la frecuencia cardiaca en reposo, HR la frecuencia cardiaca y s los segundos (Franchini et al., 2012).

Concentración hormonal: se hicieron mediciones de algunos niveles hormonales, siendo estas hormonas la testosterona y el cortisol (también recogido de forma salival). La medición de la testosterona fue realizada mediante muestras y análisis de sangre a través de una extracción de sangre. Por otra parte, se realizó la medición del cortisol salival para valorar la activación el eje hipotalámico-pituitario mediante variación de cortisol diurna (KLIMES–DOUGAN et al., 2001) mediante ELISA competitivo con la implicación de anticuerpos monoclonales (Lindsay et al., 2017).

Células mononucleares: se midieron también el número de monocitos y linfocitos. Para ello recurrieron a la preparación de estas células a partir de sangre humana total suministrada por el servicio de sangre de Nueva Zelanda mediante centrifugación con *Lymphoprep* (Gieseg et al., 2010).

Temperatura: la medición de la temperatura fue muy abundante entre los artículos, siendo en uno de ellos de forma gatrointestinal. Fue tomada a modo de control mediante un modelo de termómetro que fue variando en los estudios. En uno de ellos, se midió la temperatura gastrointestinal, para ello los participantes tuvieron que ingerir un sensor tomando tanta agua como fuera necesario cuatro horas antes de la realización de los combates para una medida precisa (Laursen, 2006).

Agrupación de artículos

En la Tabla 4 se analizan los artículos a tratar. Al no encontrarse mucha diferencia entre la forma de actuar sobre el grupo control y el experimental en los artículos, se agruparon todos en el mismo grupo.

Tabla 4.
Resultados y características de los estudios analizados

Estudios	Participantes	Diseño de estudio	Intervención	Variables de estudio	Instrumentos de medida	Resultados
Fonseca et al., 2016	n= 8 participantes varones.	ECA Grupo de intervención n=4.	El primer grupo fue sometido a una recuperación mediante la inmersión en agua fría (6°C) durante 19 minutos.	Marcadores de daño muscular: Creatinafosfoquinasa (CK), lactato deshidrogenasa (LDH), aspartato aminotransferasa (AST) y alanina aminotransferasa (ALT).	Muestras de sangre antes del entrenamiento, después de la recuperación, 24 y 48 horas después de la recuperación.	Los atletas que se sumergieron en el agua fría mostraron mejores medidas de recuperación del entrenamiento debido a que los niveles de LDH fueron más bajos a las 24 horas. La potencia muscular estimada fue mayor en el grupo de inmersión en agua fría tanto para MMSS como para MMII. También se observó menor dolor muscular y mayor percepción de la
	Edad media: 24 años.	Grupo control n=4.	El segundo grupo (el grupo control) fue sometido a una recuperación pasiva.	Dolor muscular percibido, recuperación percibida y esfuerzo percibido, además de la temperatura corporal.	Escala visual analógica. Métodos descritos por Laurent Escala de Borg. Termómetro digital.	

Estudios	Participantes	Diseño de estudio	Intervención	Variables de estudio	Instrumentos de medida	Resultados
	Arte marcial: jiu-jitsu.	Todos los participantes completaron las fases del estudio.	El tratamiento fue invertido en la segunda sesión.	Potencia muscular de los MMSS y MMII.	CMJ (MMII) Barra en posición supina y un codificador atado al cinturón (MMSS).	recuperación en el grupo que se sometió a la inmersión a las 24 horas de recuperación.
Medeiros et al., 2022	n= 17 participantes varones. Edad media: >18 años hasta 35 años.	ECA. Grupo control. Grupo 2: crioterapia usando una bolsa de hielo en la parte posterior del tórax. Grupo 3: crioterapia mediante la completa inmersión de los pies en agua fría.	Grupo control no recibió crioterapia, recuperación pasiva El segundo grupo fue sometido a crioterapia en la región torácica, aplicada mediante una bolsa de hielo a temperatura entre 4° y 10°C. El tercer grupo fue sometido a la inmersión de los pies en agua fría a temperatura de 4° a 10°C.	Recuperación cardiaca autónoma mediante la frecuencia cardiaca en reposo.	Dispositivo portátil Polar-FT1® y ecuación matemática.	No se encontraron cambios significativos en la aplicación de crioterapia en la recuperación cardiaca autónoma de los luchadores de MMA. La recuperación sin crioterapia es más eficaz en la homeostasis de la frecuencia cardiaca en reposo en luchadores de MMA.
Santos et al., 2012	n= 9 participantes varones. Edad media: 23 años.	Todos los participantes completaron todas las fases del estudio. ECA. Grupo 1, grupo de intervención, crioterapia post ejercicio, n= 5. Grupo 2: grupo control, n=4.	El primer grupo fue sometido a una recuperación mediante la inmersión en agua fría (4° a 6°C) durante 19 minutos, en los cuales hubo 4 ciclos de 4 minutos de inmersión separados por intervalos de 1 minuto. El segundo grupo se sometió a recuperación pasiva.	Dolor percibido y temperatura corporal. Marcadores de daño muscular: Creatinafosfoquinasa (CPK) y ácido láctico (LDH) en sangre.	Escala visual analógica del 0 al 10. Termómetro digital. Muestras de sangre.	La crioterapia post-entrenamiento entre 4° y 6°C disminuye el nivel de concentración de CPK y LDH. También disminuye la sensación de dolor y mantiene la resistencia a la fuerza isométrica en comparación con el grupo control.
Lindsay et al., 2015	n=10 participantes varones. Edad media: 27,3 años.	Todos los participantes completaron todas las fases del estudio. Estudio piloto. Grupo 1, grupo de intervención, inmersión en agua fría, n= 5.	El primer grupo fue sometido a una recuperación basada en una inmersión de cuerpo entero, a excepción de la cabeza y el cuello, en agua fría (10°C) durante 15 minutos inmediatamente después del entrenamiento y en las siguientes mañanas (12 horas y 36 horas después del entrenamiento). El segundo grupo fue sometido a una recuperación pasiva que solo requería estar sentado durante 15 minutos con el mínimo movimiento posible.	Marcadores de inflamación: neopterina total (neopterina + 7,8dihidroneopterina). Marcadores de estrés oxidativo (neopterina) y marcadores de daño muscular (mioglobina). Monocitos y linfocitos en sangre.	Judogi Handgrip Test. Muestras de orina. Muestra preparada de sangre humana suministrada por el servicio de sangre de Nueva Zelanda.	La crioterapia disminuye la respuesta inflamatoria post-entrenamiento que puede ser atribuido a la supresión de la activación de células mononucleares derivadas de la sangre. La mioglobina aumentó considerablemente 1 hora después del entrenamiento. La neopterina aumentó bastante 1 y 24 horas después del entrenamiento y la neopterina total aumentó significativamente 1 hora después del entrenamiento solo para el grupo de recuperación pasiva. La inmersión en agua fría atenuó la producción total de neopterina, mientras que la crioterapia redujo la producción de neopterina en células mononucleares estimuladas con acetato de

Estudios	Participantes	Diseño de estudio	Intervención	Variables de estudio	Instrumentos de medida	Resultados
						forbol miristato.
Tabben et al., 2018	n=12 participantes varones. Edad media: 26,5 años.	ECA. Grupo 1, inmersión en agua fría 10°C. 2 grupo: grupo control, recuperación pasiva.	Los participantes del grupo de inmersión en agua fría, sumergieron su cuerpo, a excepción del tronco, cuello y cabeza en una posición de sedestación a 10°C durante 15 minutos. El grupo de recuperación pasiva mantuvo una posición de sedestación durante 15 minutos a temperatura ambiente.	Frecuencia cardiaca y lactato en sangre, así como la concentración de creatina quinasa (CK), testosterona y cortisol. Pruebas físicas: sentadilla con salto, salto contra movimiento y sprint de 10 metros.	Monitor frecuencia cardiaca Polar software. Muestra de sangre y Lactate Pro analyzer. El salto contra movimiento y la sentadilla con salto se repitieron 2 veces.	El uso de baño de inmersión como se describe en este estudio ha resultado beneficioso para la recuperación del rendimiento en sprints de 10 metros y en el bienestar percibido 24 horas después del combate. Los marcadores sanguíneos no se vieron influidos por la inmersión en agua fría, lo que indicaría que la recuperación física y la que se percibe está disociada.
	Arte marcial: MMA.	Todos los participantes completaron todas las fases del estudio.	En la siguiente sesión se cambiaron los grupos.	Índice de Hooper de bienestar, basado en puntuaciones relativas de percepción de fatiga, estrés, dolor muscular de origen tardío y sueño.	Índice de Hooper.	
Estudios	Participantes	Diseño de estudio	Intervención	variables de estudio	Instrumentos de medida	Resultados
Brito et al., 2014	n=10 participantes varones. Edad media: 23,3 años.	ECA. Grupo 1, grupo de intervención, grupo que recibió crioterapia, n=5 Grupo 2: grupo control, recuperación pasiva tumbados, n= 5.	El primer grupo fue sometido a una inmersión en agua fría, de 4° a 6°C durante 19 minutos, mediante ciclos de 4 minutos de inmersión con 1 minuto de intervalo. El grupo de recuperación pasiva se quedó tumbado a temperatura ambiente, 26°C. El tratamiento fue invertido en la segunda sesión.	Niveles de: creatinafosfoquinasa (CPK) y lactato deshidrogenasa (LDH). Fuerza de miembros superiores. Dolor percibido y temperatura corporal.	Muestras de sangre. Kimono grip strength endurance test. Escala visual analógica. Termómetro digital g-tech®, ri, us.	La inmersión después de la competición ha demostrado disminuir la temperatura corporal, producir analgesia, disminuir la concentración de LDH y disminuir la concentración de la elevación de CPK comparado con el grupo control. No se vio afectada la fuerza de agarre. Se encontró relación entre la percepción del dolor y las concentraciones de CPK, así como las concentraciones de CPK y LDH se relacionaron negativamente con la fuerza dinámica.
	Arte marcial: jiu-jitsu	Todos los participantes completaron todas las fases del estudio.				

Aplicación de crioterapia vs recuperación pasiva

Fonseca et al. (2016) realizaron un ensayo clínico aleatorizado de tipo cruzado con el objetivo de estudiar el efecto de la inmersión en agua fría después de los entrenamientos de jiu-jitsu en el dolor muscular percibido, la respuesta inflamatoria y la potencia de los miembros inferiores y superiores y la relación entre las variables.

En el estudio participaron un total de ocho atletas de jiu-jitsu, varones de 24 años de media, todos tenían el cinturón azul o morado, habían competido en un mínimo de tres competiciones el año de antes del estudio y no estaban involucrados en ningún proceso de pérdida de peso rápida, ya que esto puede afectar negativamente al rendimiento físico (Franchini et al., 2012). Los ocho atletas se dividieron en dos grupos de forma aleatoria: grupo de intervención (n=4) y grupo control (n=4). Ambos grupos recibieron dos sesiones de entrenamiento separadas por un periodo de una semana. Se les dieron indicaciones a todos los participantes de no hacer ninguna actividad física que pudiera ser agotadora 24 horas antes y, además, fue servido el mismo desayuno para todos una hora y media antes del entrenamiento. El protocolo de entrenamiento se basó en 40 minutos de ejercicios de calistenia, entrenamiento técnico y simulaciones

de combate, siendo un total de 120 minutos. El grupo de intervención recibió el tratamiento mediante inmersión en agua fría del cuerpo entero hasta el cuello a una temperatura de aproximadamente 6°C durante 16 minutos, que se basaron en cuatro ciclos de cuatro minutos de inmersión con un minuto de descanso, Santos et al. (2012). El grupo control realizó una recuperación pasiva. Los tratamientos fueron invertidos en el segundo día de entrenamiento.

Las medidas fueron recogidas de la siguiente manera: las muestras de sangre y las mediciones de potencia muscular de miembros superiores e inferiores se tomaron antes del entrenamiento, inmediatamente después de la recuperación y 24 y 48 horas después de la recuperación, mientras que las escalas subjetivas se registraron antes y después del entrenamiento, inmediatamente después de la recuperación y 24 y 48 horas después de la recuperación, a excepción de la escala de Borg que fue medida cada 40 minutos en el entrenamiento. Por otra parte, la temperatura fue medida antes y después del entrenamiento y justo después de la recuperación.

Las variables de estudio recogidas y sus respectivos instrumentos de medida fueron: marcadores de daño muscular (CK, LDH, AST, ALT) mediante un análisis de sangre,

potencia de miembros superiores a través de un test de empuje de una barra desde posición supina conectada a un codificador atado a los cinturones e inferiores mediante el salto contra movimiento según Bosco et al. (1983) y tres medidas subjetivas (dolor muscular percibido, recuperación percibida y esfuerzo percibido) mediante escalas visuales analógicas (escala EVA, escala PRS y escala de Borg).

Los resultados tras la recogida de datos indicaron que los marcadores de daño muscular tenían concentraciones menores en LDH en el grupo de intervención que en el grupo control 24 horas después del entrenamiento ($p < 0,001$). Además, demuestran que la fuerza de miembros inferiores y la fuerza de miembros superiores es mayor en el grupo de intervención que en el grupo control ($P = 0,01$). También se observa un menor dolor percibido ($p < 0,001$) y una mayor recuperación percibida ($p < 0,001$) en el grupo de intervención que en el grupo control. La temperatura es significativamente menor ($p < 0,001$) en el grupo de intervención que en el grupo control.

Lindsay et al. (2017) realizaron un ensayo clínico aleatorizado con el objetivo de investigar el efecto inmediato de la inmersión en agua fría en los biomarcadores estructurales, inflamatorios y fisiológicos dentro de un contexto de sesión de entrenamiento preparatoria de MMA en comparación con la recuperación pasiva.

En el estudio participaron un total de 15 atletas de MMA de 28,3 años de media con un récord de 3,7 victorias de media y 1,8 derrotas de media. Todos ellos tenían un mínimo de dos años de experiencia (5,2 de media) y se encontraban en la última semana de una concentración de entrenamiento de seis semanas antes de competir en una competición siete días más tarde (las restricciones dietéticas no habían comenzado).

Los 15 atletas se dividieron en dos grupos de forma aleatoria mediante el lanzamiento de una moneda al aire para la aleatorización. Grupo de intervención ($n = 7$) y grupo control ($n = 8$).

Todos los participantes se encontraban en la última semana de una concentración de entrenamiento que duró seis semanas, de esta forma, el estudio se basó en un experimento aleatorizado que duró 24 horas, que fue el tiempo de seguimiento de los atletas. La sesión de entrenamiento duró 90 minutos y estaba diseñada para que cada sujeto compitiera contra varios oponentes en combates de 15 minutos de duración de tres rondas de cinco minutos. El grupo de intervención recibió el tratamiento mediante inmersión después del entrenamiento, éste se basó en sumergir el cuerpo, a excepción del cuello y de la cabeza, en una bañera a 10°C durante 15 minutos, siguiendo el protocolo descrito en Lindsay et al. (2016). El grupo control realizó la recuperación de forma pasiva, manteniéndose en sedestación durante 15 minutos a la misma temperatura ambiente que el grupo de intervención.

Las variables a medir fueron recogidas de la siguiente manera: el salto contra movimiento fue registrado justo antes y 24 horas después de la sesión de entrenamiento. Las muestras de orina (para la medición de la neopterina y de la

neopterina total y de la mioglobina) y la de saliva (para la medición del cortisol) fueron recogidas minutos antes del entrenamiento, justo después y una, dos y 24 horas después del entrenamiento. La muestra de saliva también fue recogida una semana antes de la sesión de entrenamiento a la misma hora para tener en cuenta la variación diurna del cortisol (KLIMES-DOUGAN et al., 2001). Por otra parte, se midió la temperatura gastrointestinal y el dolor percibido en todo el cuerpo en sedestación en cada muestra de orina y salival.

Las variables del estudio recogidas y sus respectivos instrumentos de medida fueron: marcadores de daño muscular (mioglobina en orina) mediante un análisis de orina, marcadores inflamatorios y de estrés oxidativo (neopterina y neopterina total) y la activación del eje hipotálamico-pituitario (cortisol salival) mediante un análisis salival. Por otra parte, se midió el dolor percibido en todo el cuerpo mediante una escala EVA, el salto contra movimiento para evaluar la potencia de miembros inferiores y la temperatura gastrointestinal

Los resultados tras la recogida de datos mostraron un aumento de la concentración de neopterina urinaria del grupo control respecto el grupo de intervención a las dos ($p < 0,05$, $d = 0,58$) y 24 horas ($p < 0,05$, $d = 0,057$). De la misma forma, la neopterina total aumentó en el grupo control respecto al grupo de intervención a las dos ($p < 0,05$, $d = 0,89$) y a las 24 horas ($p = 0,06$, $d = 0,47$). El cortisol salival tenía valores mayores a las dos horas ($p < 0,05$, $d = 0,68$) en el grupo control que en el grupo de intervención. El grupo de intervención percibió menos dolor inmediatamente después ($p < 0,05$, $d = 1,11$), una hora después ($p < 0,01$, $d = 1,11$) y 24 horas después ($p < 0,05$, $d = 0,48$) que el grupo control. Además, la temperatura gastrointestinal del grupo intervención fue significativamente más baja ($p < 0,05$, $d = 0,66$) 30 minutos después de la intervención que el grupo control. No se encontraron variaciones ni en el salto contra movimiento ni en la concentración de mioglobina.

Medeiros et al. (2022) realizaron un ensayo clínico aleatorizado de tipo cruzado con el objetivo de analizar el comprobar el posible efecto de la crioterapia en la recuperación cardiaca autónoma después de ejercicios de combate simulados en luchadores de MMA. En el estudio participaron un total de 17 atletas varones de MMA mayores de 18 años con una experiencia mínima de seis meses compitiendo a nivel nacional en la categoría de peso medio.

Los 17 atletas se dividieron en tres grupos de forma aleatoria mediante un sorteo. El primer grupo fue el grupo control, el segundo usó crioterapia en la región torácica y el tercero usó como método de crioterapia la inmersión de los pies en agua fría.

Los participantes no realizaron actividad física estresante y no ingirieron alimentos estimulantes el día de antes de la evaluación. El protocolo de entrenamiento consistió en rondas de combate de MMA usando sacos de golpeo, uno para el golpeo y otro para la simulación de proyecciones e isometría de la musculatura aductora del muslo. Se

realizaron tres rondas de cinco minutos de un circuito de golpeo, isometría de aductores y proyecciones con un descanso de 60 segundos al final de cada ronda en el que se aplicaba la alguna de las tres condiciones posibles como recuperación durante un minuto, conformando un total de 18 minutos de simulación. La evaluación comenzó al siguiente día posterior a un calentamiento general de 10 minutos. El grupo 1 realizó las recuperaciones en posición de sedestación de forma pasiva, el grupo 2 mediante crioterapia en la región torácica y el grupo 3 mediante la inmersión de los pies en agua fría. La temperatura del agua en la crioterapia oscilaba entre 4° y 10°C.

La variable a medir en este estudio para valorar el efecto de la crioterapia en la recuperación cardiaca autónoma fue la frecuencia cardiaca en reposo, y de este dato se calculó el índice de recuperación de la frecuencia cardiaca en reposo. La frecuencia cardiaca en reposo se anotó en los momentos de descanso entre asaltos a los 30 segundos y a los 60 segundos en cada una de las tres condiciones posibles.

La variable recogida en este estudio fue la frecuencia cardiaca mediante un monitorizador de la frecuencia cardiaca portátil.

Los resultados tras la recogida de datos sugieren que no hubo una diferencia significativa de la frecuencia cardiaca máxima y además no hubo un efecto significativo del tiempo ($n2p: 0.03$). Por una parte, la medición de la frecuencia cardiaca en reposo tras 30 segundos sugiere que el grupo control redujo la frecuencia cardiaca en reposo en las dos primeras rondas ($\eta2p: 0,28$) respecto al grupo de intervención que usó crioterapia en los pies y que este grupo, a su vez, fue menos eficaz que la crioterapia en la región torácica ($\eta2p: 0,23$) para reducir la frecuencia cardiaca en reposo en la tercera ronda. La crioterapia en la región torácica se mostró significativamente condicionada por el tiempo ($\eta2p: 0,25$). Por otra parte, la medición de la frecuencia cardiaca en reposo a los 60 segundos sugiere que el grupo control fue más eficaz que los dos grupos de intervención ($\eta2p: 0,32$). Para ambas mediciones no hubo diferencias significativas entre el grupo control y el de crioterapia en la región torácica.

El índice de la frecuencia cardiaca en reposo demuestra que el grupo control recuperó mejor que el grupo de intervención con crioterapia en los pies después de la primera ronda ($\eta2p: 0,23$), la segunda ronda ($\eta2p: 0,46$) y la tercera ronda ($\eta2p: 0,27$) y que la crioterapia torácica no mostró diferencias significativas respecto a los otros dos grupos.

Santos et al. (2012) realizaron un ensayo clínico aleatorizado de tipo cruzado con el objetivo de investigar los efectos agudos de la crioterapia después del ejercicio. Para ello valoraron los niveles de creatina fosfoquinasa (CPK) y lactato deshidrogenasa (LDH), dolor percibido y la fuerza muscular de los miembros superiores en competidores de jiu-jitsu.

En el estudio participaron nueve atletas varones de 23 años de media con una experiencia en la competición de 5,2 años pertenecientes al club GFTeam y participaron en, al menos, tres competiciones el año anterior. Los nueve

atletas se dividieron en dos grupos de forma aleatoria. Grupo de intervención ($n=5$) y grupo control ($n=4$).

El estudio se basó en un diseño cruzado donde los participantes se sometieron a dos sesiones de entrenamiento separadas entre sí por dos días de descanso. Los entrenamientos estaban estructurados por 30 minutos de ejercicios generales, 30 minutos de entrenamiento técnico y otros 30 minutos compuestos por cinco combates de cinco minutos de duración con un minuto de descanso entre cada uno. El grupo de intervención recibió el tratamiento justo al terminar la sesión de entrenamiento mediante un baño de inmersión en agua fría (5°C) durante 19 minutos, que consistía en cuatro ciclos de cuatro minutos de inmersión separados por un minuto. Por otra parte, el grupo control no fue sometido a ninguna intervención. Al segundo día se cambiaron los grupos.

Las variables a medir fueron recogidas de la siguiente manera: las concentraciones en sangre de los marcadores de daño muscular (CPK y LDH) fueron valoradas antes del entrenamiento y después de la crioterapia. La fuerza de los miembros superiores fue analizada antes del entrenamiento y después de la recuperación. La percepción del dolor fue medida antes y después del entrenamiento, después de la recuperación y después del test de fuerza de miembros superiores. La temperatura corporal fue registrada antes y después del entrenamiento y después de la recuperación.

Las variables del estudio y sus respectivos instrumentos de medida fueron: marcadores de daño muscular (CPK y LDH) mediante un análisis de sangre, la fuerza de los miembros superiores mediante el Judogi Handgrip Test descrito por Franchini et al. (2011), la percepción del dolor mediante la escala EVA y la temperatura fue tomada por un termómetro digital.

Los resultados tras la recogida de datos demostraron que los niveles de creatinofosfoquinasa solo aumentaron significativamente ($p<0,05$) en el grupo control. El ácido láctico aumentó significativamente ($p<0,05$) en ambas condiciones respecto a la situación antes del entrenamiento, después de la recuperación fueron significativamente superiores ($p<0,05$) en el grupo control. Se produjo una disminución ($p<0,05$) de fuerza en el grupo control. La crioterapia produjo una disminución ($p<0,05$) del dolor percibido y de la temperatura corporal. Por otra parte, los niveles de CPK y LDH se correlacionaron significativamente ($p<0,05$) con la percepción del dolor.

Lindsay et al. (2015) realizaron un estudio piloto con el objetivo de evaluar el nivel de inflamación [neopterinina total (neopterinina+7,8-dihidroneopterinina)], estrés oxidativo (neopterinina) y daño muscular (mioglobina) después de una competición simulada de MMA y determinar si la inmersión en agua fría es más eficaz que la recuperación pasiva en términos de atenuación de estas respuestas fisiológicas.

En el estudio participaron un total de 10 luchadores de MMA de 27,3 años de media con un récord de media de 3,9 victorias y 2,1 derrotas.

Los 10 atletas fueron divididos en dos grupos de forma aleatoria mediante el lanzamiento al aire de una moneda

para la división. Grupo de intervención (n=7) y grupo control (n=5).

Antes del combate, todos los luchadores llevaron a cabo una dieta y unos preparativos proporcionados por su mánager, en los que se incluían periodos de descanso de 24 horas antes y 48 horas después del combate, así como la ingesta de un litro de agua y una bebida de carbohidratos y proteínas. Cada participante fue emparejado por peso con un oponente en un combate que duró tres asaltos de cinco minutos. El grupo de intervención recibió el tratamiento de recuperación mediante inmersión del cuerpo entero, a excepción de la cabeza y el cuello, en agua fría (10°C) durante 15 minutos inmediatamente después del combate y en las dos mañanas siguientes, aproximadamente 12 y 36 horas después. Por otra parte, el grupo control como método de recuperación solamente hizo recuperación pasiva en posición de sedestación durante 15 minutos.

Las variables a medir fueron recogidas de la siguiente manera: la muestra de orina fue recogida antes, inmediatamente después y una y dos horas después de entrenar y uno y dos días después de entrenar. El cultivo celular fue preparado de la sangre que cedió el servicio de sangre de Nueva Zelanda.

Las variables del estudio y sus respectivos instrumentos de medida fueron: neopterina total mediante un automuestreador HPLC Sil-20A y un detector de fluorescencia RF-20Axls, neopterina mediante el uso de la fluorescencia nativa a longitud de onda y muestras celulares mediante la precipitación de proteínas con acetónitrilo. Por otra parte, la mioglobina fue cuantificada mediante el mismo automuestreador HPLC Sil-20^a y un detector de fluorescencia RF-20Axls.

Los resultados tras la recogida de datos mostraron un aumento significativo de la mioglobina ($p=0'005$, $\eta^2p=0'39$) una hora después del entrenamiento. La neopterina sufrió un aumento significativo una hora después ($p=0'02$, $\eta^2p=0'35$) y 24 horas después ($p=0'04$, $\eta^2p=0'48$). De esta forma, se observó una correlación moderada ($r=0,51$) entre el cambio de la neopterina en las dos primeras horas posteriores al combate y la concentración de mioglobina. La neopterina total aumentó significativamente ($p=0'01$, $\eta^2p=0'50$) solo en el grupo de recuperación pasiva junto a variaciones individuales significativas en todos los marcadores ($p=0,01$). La concentración de neopterina total fue significativamente menor ($p=0'04$, $\eta^2p=0'63$) en el grupo de intervención una hora después del entrenamiento. La crioterapia redujo significativamente ($p<0,01$) la producción de neopterina total en células mononucleares estimuladas con PMA a 4°C comparado con las estimuladas a 37°C.

Brito et al. (2014) realizaron un ensayo clínico aleatorizado de tipo cruzado con el objetivo de investigar los posibles efectos agudos de la crioterapia en la creatina fosfoquinasa (CPK) y lactato deshidrogenasa (LDH), el dolor percibido y la fuerza de los miembros superiores en los competidores de jiu-jitsu.

En el estudio participaron un total de 10 atletas varones

de 23,3 años de media con una experiencia media en las competiciones de jiu-jitsu de 5,4 años, estos atletas eran miembros de equipos de competición internacional y fueron seleccionados bajo los criterios de que tuvieran al menos tres años de experiencia en competición y que hubieran participado en al menos tres competiciones en el año que precedía el estudio. Todos se encontraban en la fase final de una etapa de 30 días para un campeonato.

Los 10 atletas se dividieron en dos grupos de forma aleatoria. De forma que el primer día fue elegido el grupo de intervención (n=5) y el grupo control (n=5).

Se recomendó a los luchadores evitar cualquier actividad que les pudiera causar cansancio dos días antes de la intervención. Todos los participantes se encontraban en los últimos días de una etapa de entrenamiento previa a la competición que duró un mes, en la que se recogieron los datos en dos competiciones simuladas con un descanso de dos días entre cada una. Cada una estaba compuesta de cuatro combates de siete minutos con un descanso entre combates de 15 minutos. El grupo de intervención recibió el tratamiento inmediatamente después del último combate, el cual se basó en la inmersión de los atletas en agua a 5°C durante 19 minutos, en intervalos de cuatro minutos de inmersión con uno de descanso. El grupo control realizó una recuperación pasiva manteniéndose tumbados a temperatura ambiente (26°C).

Las variables a medir fueron recogidas de la siguiente manera: los marcadores de daño muscular (CPK y LDH) se estudiaron mediante análisis de sangre, la muestra fue recogida 15 minutos antes del primer combate e inmediatamente después de la recuperación. La fuerza de miembros superiores fue medida antes de los combates y después de la recuperación. El dolor percibido fue medido antes del primer combate, después del último y después de la recuperación y del kimono grip endurance test. Por último, la temperatura fue medida 10 minutos antes del comienzo de los combates, inmediatamente después y durante la recuperación.

Las variables del estudio recogidas y sus respectivos instrumentos de medida fueron: análisis de sangre para los marcadores de daño muscular (CPK y LDH), el *kimono grip strength endurance test* descrito por Franchini et al. (2011) para la fuerza en miembros superiores, la escala EVA para la medición del dolor percibido y por último un termómetro digital para la temperatura corporal.

Los resultados tras la recogida de datos mostraron una diferencia significativa ($p=0,038$) en la concentración de creatina fosfoquinasa entre el grupo de intervención y en el grupo control, siendo los valores más bajos en el grupo de intervención que en el grupo control. La concentración de ácido láctico también se vio afectada por la condición de tratamiento, siendo los valores más bajos ($p=0,012$) en el grupo de intervención que en el grupo control. Tanto el dolor percibido como la temperatura corporal fueron menores en el grupo de intervención ($p=0'003$, $\eta^2 = 0.41$; $p<0'001$, $\eta^2 = 0.51$) que en el grupo control. Por otra parte, hubo correlaciones significativas entre el dolor

percibido y la concentración de creatina fosfoquinasa ($r = 0,314$) y el ácido láctico ($r = 0,546$). Estas concentraciones se correlacionaron negativamente con la fuerza dinámica ($r = -0,525$).

Tabben et al. (2018) realizaron un ensayo clínico aleatorizado de tipo cruzado con el objetivo de evaluar el efecto inmediato y el efecto después de 24 horas de la inmersión en agua fría y de la recuperación pasiva en el rendimiento físico después de una competición, en los cambios en los marcadores de estrés (cortisol, testosterona y creatina quinasa) y ácido láctico y en la percepción de bienestar en luchadores de MMA.

En el estudio participaron un total de 12 luchadores de MMA varones de 26,5 años de media. Todos los participantes participaban en competiciones a nivel regional o a nivel local al menos una vez al mes y entrenaban regularmente tres o cuatro veces por semana.

Los 12 atletas se dividieron en dos grupos de forma aleatoria. Grupo de intervención ($n=6$) y grupo control ($n=6$).

Los participantes no podían beber café, té, coca cola o alcohol 24 horas antes de la sesión. Todos los participantes completaron dos sesiones de entrenamiento experimentales con un intervalo entre ellas de tres días, ambas a la misma hora del día (08:00 – 10:00). Las sesiones consistieron en 15 minutos de calentamiento y sesiones de combate de tres asaltos de cinco minutos con un minuto de descanso pasivo entre cada ronda. Ambos grupos recibieron el tratamiento 15 minutos después de la sesión. El grupo de intervención sumergió el cuerpo a excepción del tronco, cabeza y cuello en una posición sentada a 10°C durante 15 minutos, descrito por Lindsay et al. (2017), mientras que el grupo control se mantuvo sentado en una posición de sedestación a la misma temperatura ambiente durante 15 minutos.

Las variables a medir fueron recogidas de la siguiente manera: antes del entrenamiento se midieron: la concentración de ácido láctico, el salto desde sentadilla y el salto contra movimiento, el tiempo de sprint de 10m y las muestras de sangre (testosterona, cortisol y creatina quinasa); después del entrenamiento se midieron: la concentración de ácido láctico y las muestras de sangre (testosterona, cortisol y creatina quinasa); inmediatamente después de la recuperación se midieron: la concentración de ácido láctico, el salto desde sentadilla y el salto contra movimiento, el tiempo de sprint de 10m y las muestras de sangre (testosterona, cortisol y creatina quinasa), y por último, 24 horas después de la intervención se midieron la concentración de ácido láctico, el salto desde sentadilla y el salto contra movimiento, el tiempo de sprint de 10m y las muestras de sangre (testosterona, cortisol y creatina quinasa). La frecuencia cardíaca se monitorizó de forma continuada. El test de Hooper se realizó antes de cada día de evaluación.

Las variables del estudio recogidas y sus respectivos instrumentos de medida fueron: frecuencia cardíaca mediante un monitor en el pecho durante los asaltos y en la fase de descanso, la concentración de lactato mediante una muestra de sangre de la yema del dedo, la percepción de bienestar mediante el índice de Hooper, el salto desde sentadilla y el

salto contra movimiento mediante un sistema de infrarrojos que estudian el salto, el tiempo de sprint de 10m mediante células fotoeléctricas telemétricas automáticamente, y por último, las medidas de la muestra de sangre (cortisol, testosterona y concentración de creatina quinasa) mediante un análisis de sangre.

Los resultados tras la recogida de datos indicaron que el rendimiento en el sprint de 5m ($d=0,64$) y 10m ($d=0,91$) disminuyó en el grupo de intervención respecto al grupo control justo después de la intervención, pero 24 horas después de la intervención se produjo un aumento del rendimiento en el sprint de 10m ($d=0,53$) en el grupo de intervención respecto al grupo control. El combate simulado provocó aumentos de cortisol, testosterona y la relación cortisol-testosterona después del ejercicio y después de la recuperación en ambas condiciones. Por último, se observaron diferencias significativas entre ambos grupos 24 horas después de la recuperación en las puntuaciones del test de Hooper ($d= 1,93$), dolor muscular de origen tardío ($d= 0,60$), sensación de fatiga ($d= 1,51$), calidad del sueño ($d= 1,36$) y estrés percibido ($d= 1,56$), teniendo la intervención de crioterapia un efecto positivo en estas medidas.

Discusión

El objetivo de esta revisión fue examinar de forma crítica y agrupar las principales evidencias disponibles en la actualidad sobre la efectividad de la crioterapia en la recuperación de los artistas marciales. Las conclusiones de esta revisión aportan una información actualizada y relevante tanto para los profesionales de la salud como para los integrantes del mundo de las artes marciales debido a que no existen revisiones recientes sobre el tema.

Para ello se realizó el análisis completo de siete estudios escogidos de las bases de datos analizadas. En estos artículos se puede ver la actuación de la crioterapia de diferentes formas para abordar el proceso de recuperación de los entrenamientos de las artes marciales frente a la recuperación pasiva.

Se ha podido analizar que en todos los estudios se ha comparado la crioterapia con la recuperación pasiva después de sesiones de entrenamiento. Es reseñable que las variables que mayores cambios han experimentado han sido en el dolor percibido y en la concentración de marcadores de daño muscular. Respecto al dolor percibido, todos los estudios muestran una mejoría subjetiva del deportista en términos de reducción del dolor después de la recuperación con crioterapia, no solo inmediatamente después de la intervención, sino que también hasta 24 horas después como es en el caso de Lindsay et al. (2017). Los únicos estudios que no estudiaron el cambio en el dolor percibido fueron los de Medeiros et al. (2022) y Lindsay et al. (2015). También se atribuye una mayor sensación de recuperación percibida respecto al grupo control (Fonseca et al., 2016).

Por otra parte, los estudios han evaluado los cambios que han sufrido distintos marcadores de daño muscular. Destaca el ácido láctico, que fue tomado en cuenta en tres

de los artículos (Brito et al., 2014; Fonseca et al., 2016; Santos et al., 2012). En todos ellos se demostró una disminución significativa de los valores de ácido láctico en el grupo que adoptó la recuperación mediante crioterapia, siendo mayores los valores del grupo control. Otro marcador estudiado fue la creatina fosfoquinasa (Brito et al., 2014; Santos et al., 2012), que tuvo el mismo comportamiento que el ácido láctico en cuanto a concentración, de forma que en el grupo control aumentaron los valores de esta enzima respecto al grupo de intervención, que se vieron disminuidos. Además de estos dos, unos marcadores muy tenidos en cuenta fueron la neopterina y la neopterina total (Lindsay et al., 2015; Lindsay et al., 2017), que demostraron un aumento en la concentración del grupo control respecto al grupo que recibió la crioterapia después de la intervención desde las dos hasta las 24 horas.

Por lo tanto, puede inferirse que la crioterapia como método de tratamiento en los luchadores de artes marciales es un buen método de recuperación debido al poco tiempo de recuperación existente entre las sesiones de entrenamiento de los deportistas implicados. Por ello, si conseguimos efectos positivos a corto plazo en el dolor, en concentraciones de sustancias tóxicas para la musculatura y en la recuperación percibida por los deportistas, por muy pequeña que pueda llegar a ser, será válida para una mejor sensación del deportista en su próximo entrenamiento, siendo de esta forma, un método eficaz para la recuperación, no solo de la musculatura, si no de las buenas impresiones que puede tener sobre sí mismo.

Así mismo, se establecieron correlaciones entre los marcadores de daño muscular, estas fueron: Santos et al. (2012) y Brito et al. (2014) establecieron que los niveles de creatina fosfoquinasa y de ácido láctico de correlacionaron de forma significativa con la percepción subjetiva del dolor y, por otra parte, Lindsay et al. (2015) demostraron un aumento de la mioglobina que se puede correlacionar positivamente con el cambio de la neopterina 2 horas posteriores al combate. Sin embargo, al solo haber un estudio que considere esta correlación, se considera que se debería estudiar más en profundidad si existe o no, al igual que los cambios en la concentración de mioglobina.

Con estos datos obtenidos de forma objetiva se puede llegar a educar al deportista en su mejoría a través de la recuperación mediada por la crioterapia, quedando demostrado que no se producen solamente cambios subjetivos en su percepción sobre su bienestar, si no que estos cambios son reales y pueden marcar una diferencia de cara entrenar con los mínimos efectos adversos asociados a las anteriores sesiones de entrenamiento, lo que podrá producir que sea más cuidadoso y prudente en su recuperación.

También fueron registrados el cortisol (Lindsay et al., 2017; Tabben et al., 2018) y la testosterona (Tabben et al., 2018), mostrando aumentos de ambas y existiendo una relación entre el aumento de cortisol y de testosterona después del combate, pero sin asociarse a la intervención. Lo que sí se asoció a la intervención fue una menor concentración de cortisol a las dos horas después de la recuperación.

En cuanto a las capacidades físicas se refiere, se ha demostrado que la fuerza (Fonseca et al., 2016; Santos et al., 2012) es mayor en el grupo de intervención después de haberse sometido a la recuperación mediante crioterapia que el grupo que hizo recuperación pasiva y que las concentraciones de ácido láctico y de creatina fosfoquinasa se correlacionan negativamente con la fuerza dinámica (Brito et al., 2014). Sin embargo, al solo haber un estudio de esta correlación, se considera que se debería estudiar más en profundidad si existe o no, al igual que los cambios en la concentración de mioglobina. Otro punto a tratar es el rendimiento en el sprint de 5m y de 10m, en el que Tabben et al. (2018) indica que se produce una disminución del rendimiento inmediatamente después de la recuperación mediante crioterapia pero que a las 24 horas de la intervención se produce una mejora significativa de rendimiento en el sprint de 10m por parte del grupo de intervención.

Por tanto, se puede enfocar la crioterapia como método de recuperación en deportistas que cuenten con varias sesiones de entrenamiento al día, ya que estas normalmente se suelen dividir en entrenamiento de fuerza o de acondicionamiento físico y otro más técnico-táctico. A pesar de que haya poca literatura que lo respalde, se puede llegar al razonamiento de que después de entrenamientos técnicos vendría bien someterse a recuperación mediante crioterapia para realizar unos buenos entrenamientos de acondicionamiento físico, y viceversa.

De otra forma, Medeiros et al. (2022) concluyeron que la recuperación cardiaca autónoma no se ve afectada por la inmersión de los pies en agua fría o por la aplicación de crioterapia en la región torácica, de manera que al ser solo un estudio el que llevó a estos resultados, queda abierta la búsqueda de más información respecto a la recuperación cardiaca autónoma relacionada con la intervención mediante crioterapia.

Todas las variables medidas en el test de Hooper (Tabben et al., 2018) se vieron afectadas por la recuperación mediante crioterapia, de forma que la sensación de fatiga, la calidad del sueño, el estrés percibido y el dolor muscular de origen tardío se relacionan positivamente con la crioterapia, quedando como objeto de estudio al ser un único estudio el que muestra esta relación.

Por último, la crioterapia produjo una disminución de la temperatura en varios estudios (Brito et al., 2014; Fonseca et al., 2016; Lindsay et al., 2017; Santos et al., 2012), sin resultados contradictorios.

Limitaciones

Antes de reflejar las conclusiones a las que se ha llegado tras la realización de este trabajo, deben ser expuestas las limitaciones en el momento de su elaboración.

En primer lugar, sólo se incluyeron siete artículos. Teniendo en cuenta que no se establecieron límites temporales, esto significa que hay poca evidencia sobre el tema tratado. Debido a esto, se tuvo que realizar una búsqueda en Google Scholar, ya que con las otras bases de datos no fue

suficiente para alcanzar una cifra aceptable de artículos. En segundo lugar, sólo se incluyeron los estudios publicados en inglés o en español, pudiendo haber quedado excluidos estudios relevantes en otros idiomas. Por último, mencionar que solo se incluyeron ensayos clínicos.

Conclusión

Tas el análisis de estos estudios, se puede concluir que existe una evidencia sólida de que la crioterapia es más efectiva que la recuperación pasiva en la disminución del dolor percibido por el deportista y en la disminución de la temperatura.

Para la disminución de los niveles de LDH, CK, cortisol y neopterina existe una evidencia moderada sobre la efectividad de la crioterapia respecto a la recuperación pasiva. Así mismo, existe evidencia moderada para la efectividad de la crioterapia en la recuperación de la fuerza respecto a la recuperación pasiva.

Al haber valorado cómo actúa la crioterapia en la recuperación musculoesquelética, se cumplen los objetivos propuestos de la investigación

Existe una evidencia limitada sobre la efectividad de la crioterapia en la recuperación percibida por el deportista, la variación de los niveles de testosterona y el rendimiento en sprint de 10m. Respecto al índice de bienestar de Hooper, se estableció mejoría en el grupo que se sometió a crioterapia, pero solamente fue analizado en un estudio.

Además, se anima a investigar acerca de las posibles correlaciones entre la disminución de los niveles de CK y LDH con la percepción subjetiva del dolor, la correlación negativa entre la fuerza con los niveles de CK y LDH y la correlación positiva entre los niveles de mioglobina y neopterina, ya que existe una evidencia muy limitada en estas correlaciones entre el tratamiento con crioterapia y una recuperación pasiva. También se incita a investigar acerca del posible efecto que puede tener la crioterapia en la recuperación cardiaca autónoma, ya que hay muy poca evidencia negativa sobre esto.

Se puede llegar a la conclusión de que la crioterapia es muy efectiva en la recuperación de los artistas marciales, ya que abarca firmemente una disminución en el dolor percibido, una disminución en los niveles de sustancias de desecho y una recuperación de la fuerza más eficiente.

Se necesitan más estudios de alta calidad metodológica y con un tamaño muestral mayor para comprobar de manera más precisa la efectividad de la crioterapia en la recuperación de los artistas marciales.

Referencias

- Algafly, A. A., George, K. P., & Herrington, L. (2007). The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance * Commentary. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 365–369. <https://doi.org/10.1136/bjsem.2006.031237>
- Banfi, G., Lombardi, G., Colombini, A., & Melegati, G. (2010). Whole-Body Cryotherapy in Athletes. *Sports Medicine*, 40(6), 509–517. <https://doi.org/10.2165/11531940-000000000-00000>
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7154893>
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(2), 273–282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>
- Brancaccio, P., Maffulli, N., & Limongelli, F. M. (2007). Creatine kinase monitoring in sport medicine. In *British Medical Bulletin* (Vols. 81–82, Issue 1, pp. 209–230). <https://doi.org/10.1093/bmb/ldm014>
- Brito, C. J., Pinho Júnior, E. A., Santos, W. O. C., Nardelli Valido, C., Mendes, E. L., & Franchini, E. (2014). Influence of cryotherapy on muscle damage markers in jiu-jitsu fighters after competition: a cross-over study. *Rev Andal Med Deporte*, 7(1), 7–12. www.elsevier.es/ramd
- Cascaes da Silva, F., Beatriz Angélica Valdivia Arancibia, T., da Rosa Iop, R., Jose Barbosa Gutierrez Filho, P., & da Silva, R. (2013). Escalas y listas de evaluación de la calidad de estudios científicos Evaluation lists and scales for the quality of scientific studies (Vol. 24, Issue 3). <http://scielo.sld.cu>
- Cashin, A. G., & McAuley, J. H. (2020). Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *Journal of Physiotherapy*, 66(1), 59. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2019.08.005>
- De, A., Deusvenir De Souza Carvalho, R., & Kowacs, P. A. (2006). Avaliação da intensidade de dor. *Migrâneas cefaléias* (Issue 9).
- ENWEMEKA, C. S., ALLEN, C., AVILA, P., BINA, J., KONRADE, J., & MUNNS, S. (2002). Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(1), 45–50. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00008>
- Fatiga muscular: síntomas y cómo evitarla - Instituto Europeo de Nutrición y Salud. (n.d.). Retrieved May 11, 2023, from <https://ienutricion.com/fatiga-muscular-sintomas-y-como-evitarla/>
- Fernández-Galván, L. M., Casado, A., & Domínguez, R. (2024). Evaluación y prescripción del salto vertical y horizontal en futbolistas. Revisión narrativa (Assessment and prescription of vertical and horizontal jumping in soccer players. Narrative review). *Retos*, 52, 410–420. <https://doi.org/10.47197/RETOS.V52.101834>
- Fonda, B., De Nardi, M., & Sarabon, N. (2014). Effects of whole-body cryotherapy duration on thermal and cardio-vascular response. *Journal of Thermal Biology*, 42(1), 52–55. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.04.001>

- Fonseca, L. B., Brito, C. J., Silva, R. J. S., Silva-Grigoletto, M. E., da Silva, W. M., & Franchini, E. (2016). Use of Cold-Water Immersion to Reduce Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness and Preserve Muscle Power in Jiu-Jitsu Athletes. *Journal of Athletic Training*, 51(7), 540–549. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.9.01>
- Franchini, E., Brito, C. J., & Artioli, G. G. (2012). Weight loss in combat sports: physiological, psychological and performance effects. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-52>
- Franchini, E., Del Vecchio, F. B., Matsushigue, K. A., & Artioli, G. G. (2011). Physiological profiles of elite judo athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(2), 147–166. <https://doi.org/10.2165/11538580-000000000-00000>
- Gieseg, S. P., Amit, Z., Yang, Y.-T., Shchepetkina, A., & Katouah, H. (2010). Oxidant Production, oxLDL Uptake, and CD36 Levels in Human Monocyte-Derived Macrophages Are Downregulated by the Macrophage-Generated Antioxidant 7,8-Dihydroneopterin. *Antioxidants & Redox Signaling*, 13(10), 1525–1534. <https://doi.org/10.1089/ars.2009.3065>
- Gieseg, S. P., Baxter-Parker, G., & Lindsay, A. (2018). Neopterin, Inflammation, and Oxidative Stress: What Could We Be Missing? *Antioxidants*, 7(7). <https://doi.org/10.3390/ANTIOX7070080>
- Gil-Gómez, R., Blasco-Alonso, J., Sánchez-Yáñez, P., Rosa-Camacho, V., & Milano Manso, G. (2017). Niveles de neopterin y síndrome de respuesta inflamatoria sistémica en pacientes críticos pediátricos. *Anales de Pediatría*, 87(6), 343–349. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2016.11.011>
- Hernández-Cruz, G., Estrada-Meneses, E. F., Ramos-Jiménez, A., Rangel-Colmenero, B. R., Reynoso-Sánchez, L. F., Miranda-Mendoza, J., & Quezada-Chacón, J. T. (2022). Relación entre el tipo de ejercicio físico y la fatiga cuantificada mediante VFC, CK y el lactato en sangre (Relationship between physical exercise type and fatigue quantified through HRV, CK, and blood lactate). *Retos*, 44, 176–182. <https://doi.org/10.47197/RETOS.V44I0.89479>
- Hooper, S. L., Mackinnon, L. T., Howard, A., Gordon, R. D., & Bachmann, A. W. (1995). Markers for monitoring overtraining and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(1), 106–112. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7898325>
- Jadad, A. R., Moore, R. A., Carroll, D., Jenkinson, C., Reynolds, D. J. M., Gavaghan, D. J., & McQuay, H. J. (1996). Assessing the quality of reports of randomized clinical trials: Is blinding necessary? *Controlled Clinical Trials*, 17(1), 1–12. [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(95\)00134-4](https://doi.org/10.1016/0197-2456(95)00134-4)
- John E. Hall, & Michael E. Hall. (2021). *Guyton y Hall. Compendio de fisiología médica (14th ed.)*. Elsevier.
- KLIMES–DOUGAN, B., HASTINGS, P. D., GRANGER, D. A., USHER, B. A., & ZAHN–WAXLER, C. (2001). Adrenocortical activity in at-risk and normally developing adolescents: Individual differences in salivary cortisol basal levels, diurnal variation, and responses to social challenges. *Development and Psychopathology*, 13(3), 695–719. <https://doi.org/10.1017/S0954579401003157>
- Kons, R. L., Ache-Dias, J., Detanico, D., Barth, J., & Dal Pupo, J. (2018). Is Vertical Jump Height an Indicator of Athletes' Power Output in Different Sport Modalities? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(3), 708–715. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001817>
- Kunkle, B. F., Kothandaraman, V., Goodloe, J. B., Curry, E. J., Friedman, R. J., Li, X., & Eichinger, J. K. (2021). Orthopaedic Application of Cryotherapy: A Comprehensive Review of the History, Basic Science, Methods, and Clinical Effectiveness. In *JBJS Reviews (Vol. 9, Issue 1)*. *Journal of Bone and Joint Surgery Inc.* <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.20.00016>
- Kwecien, S. Y., & McHugh, M. P. (2021). The cold truth: the role of cryotherapy in the treatment of injury and recovery from exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 121(8), 2125–2142. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04683-8>
- Laurent, C. M., Green, J. M., Bishop, P. A., Sjökvist, J., Schumacker, R. E., Richardson, M. T., & Curtner-Smith, M. (2011). A practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 620–628. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181C69EC6>
- Laursen, P. B. (2006). Core temperature and hydration status during an Ironman triathlon * Commentary * Commentary. *British Journal of Sports Medicine*, 40(4), 320–325. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.022426>
- Lindsay, A., Carr, S., Cross, S., Petersen, C., Lewis, J. G., & Gieseg, S. P. (2017). The physiological response to cold-water immersion following a mixed martial arts training session. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(5), 529–536. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0582>
- Lindsay, A., Carr, S., Draper, N., & Gieseg, S. P. (2015). Urinary myoglobin quantification by high-performance liquid chromatography: An alternative measurement for exercise-induced muscle damage. *Analytical Biochemistry*, 491, 37–42. <https://doi.org/10.1016/J.AB.2015.09.001>
- Lindsay, A., Carr, S., Othman, M. I., Marks, E., Davies, S., Petersen, C., Draper, N., & Gieseg, S. P. (2015). The physiological and mononuclear cell activation response to cryotherapy following a mixed martial arts contest: a pilot study. *Pteridines*, 26(4), 143–151. <https://doi.org/10.1515/pterd-2015-0010>
- Lindsay, A., Janmale, T., Draper, N., & Gieseg, S. P. (2014). Measurement of changes in urinary neopterin

- and total neopterin in body builders using SCX HPLC. *Pteridines*, 25(2), 53–62. <https://doi.org/10.1515/PTERIDINES-2014-0003/MACHINEREREADABLECITATION/RIS>
- Loren Landow. (2017). Preparación física completa para las artes marciales. Ediciones Tutor, S.A.
- Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical Therapy*, 83(8), 713–721. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12882612>
- Medeiros, J. A. de, Almeida-Neto, P. F. de, Bulhões-Correia, A., Medeiros, R. C. da S. C. de, Alves, J. D. F., Aidar, F. J., Cabral, B. G. de A. T., & Dantas, P. M. S. (2022). Effect of cryotherapy on post-exercise cardiac autonomic recovery in mixed martial arts (MMA) fighters: A Randomized Clinical Trial. *Research, Society and Development*, 11(5), e23311527984. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.27984>
- Melichar, B., Spisarová, M., Bartoušková, M., Krcmová, L. K., Javorská, L., & Študentová, H. (2017). Neopterin as a biomarker of immune response in cancer patients. *Annals of Translational Medicine*, 5(13). <https://doi.org/10.21037/ATM.2017.06.29>
- Mundoentrenamiento. (2023). <https://mundoentrenamiento.com/lactato-influencia-ejercicio/>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Ghanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- P. Šrámek, M. Šimečková, L. Janský, J. Šavlíková & S. Vybíral (2000). Human physiological responses to immersion into water of different temperatures. *European Journal of Applied Physiology*, 81(5), 436–442. <https://doi.org/10.1007/s004210050065>
- Santos-Concejero, J., Granados, C., Bidaurreaga-Letona, I., Zabala-Lili, J., Irazusta, J., & Gil, S. M. (2015). Comienzo de la acumulación de lactato sanguíneo como predictor del rendimiento en atletas de élite (Onset of blood lactate accumulation as a predictor of performance in top athletes). *Retos*, 23, 67–69. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i23.34570>
- Santos, W. O. C., Brito, C. J., Júnior, E. A. P., Valido, C. N., Mendes, E. L., Nunes, M. A. P., & Franchini, E. (2012). Cryotherapy post-training reduces muscle damage markers in jiu-jitsu fighters. *Journal of Human Sport and Exercise*, 7(3), 629–638. <https://doi.org/10.4100/jhse.2012.73.03>
- Sara. (2022). Fatiga muscular: síntomas y cómo evitarla. Instituto Europeo de Nutrición y Salud. <https://ienu-tricion.com/fatiga-muscular-sintomas-y-como-evitarla/>
- Sik Park, K., Kyu Choi, J., & Saeng Park, Y. (1999). Cardiovascular Regulation during Water Immersion. *APPLIED HUMAN SCIENCE Journal of Physiological Anthropology*, 18(6), 233–241. <https://doi.org/10.2114/jpa.18.233>
- Tabben, M., Ihsan, M., Ghoul, N., Coquart, J., Chaouachi, A., Chaabene, H., Tourny, C., & Chamari, K. (2018). Cold Water Immersion Enhanced Athletes' Wellness and 10-m Short Sprint Performance 24-h After a Simulated Mixed Martial Arts Combat. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01542>
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Physiological Response to Water Immersion. *Sports Medicine*, 36(9), 747–765. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-0000>
- Zalewski, P., Klawe, J. J., Pawlak, J., Tafil-Klawe, M., & Newton, J. (2013). Thermal and hemodynamic response to whole-body cryostimulation in healthy subjects. *Cryobiology*, 66(3), 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2013.03.006>

Datos de los autores:

Eduardo Jódar Llinás
Yolanda Castellote Caballero

ejl00007@red.ujaen.es
mycastel@ujaen.es

Autor/a
Autor/a