

Revisión de alcance acerca de los métodos de inmersión en agua fría, caliente y de contraste como estrategia de recuperación en deportistas de alto rendimiento

Maira Alejandra Hoyos Saldarriaga (2), Maria Camila Mera Lemos (2), Katherine González Ruiz (1).

(1) Grupo de Investigación Salud y Movimiento, Programa de Fisioterapia, Facultad de Salud, Universidad Santiago de Cali, Santiago de Cali 760033, Colombia.

(2) Programa de Fisioterapia, Facultad de Salud, Universidad Santiago de Cali, Santiago de Cali 760033, Colombia

RESUMEN

Introducción: Los atletas emplean un aumento progresivo en las cargas de entrenamiento para mejorar el rendimiento, resultando en altos niveles de fatiga. Para facilitar la recuperación muscular y prevenir lesiones, se utilizan enfoques fisioterapéuticos como el masaje deportivo, los estiramientos, la electroestimulación y las prendas de compresión. **Objetivo:** Evaluar el estado actual de la investigación acerca del efecto de los métodos de inmersión frío, caliente y de contraste en los procesos de recuperación en deportistas de alto rendimiento. **Métodos:** Se realizó una revisión de alcance utilizando la metodología de Joanna Briggs (JBI System for the Unified Management, Assessment and Review of Information), esta búsqueda se llevó a cabo en las bases de datos PubMed, Science Direct, Springer y Taylor & Francis donde se incluyeron artículos experimentales y de cohorte sin restricción de idioma durante el periodo 2014-2023. **Resultados:** Esta revisión de alcance demostró que la HWB tuvo efectos positivos sobre la fuerza isométrica máxima de los extensores de rodilla y la CWI tuvo un aumento en el sprint de 10mt en comparación con la recuperación pasiva 24 horas después de la primera intervención. Se necesitan investigaciones futuras para determinar la eficacia de la inmersión en agua fría, caliente y de contraste, particularmente en factores biomecánicos, fisiológicos, psicológicos, intensidad y duración de las sesiones.

Palabras clave: inmersión en agua, rendimiento físico, fatiga muscular, deportistas, frío, calor, contraste.

Introducción

Los atletas de élite emplean altas cargas de entrenamiento durante todo el año para mantener un adecuado rendimiento durante el cronograma deportivo. En este contexto, debido a la alta frecuencia, intensidad y volumen del entrenamiento y la competición, los atletas suelen presentar altos niveles de fatiga (Halsón & Jeukendrup, 2004). Para esta revisión, la palabra "fatiga" se utiliza para definir sensaciones de cansancio y disminuciones asociadas en el rendimiento y la función muscular (Abbiss & Laursen, 2005). En los últimos tiempos, el interés en las técnicas fisioterapéuticas de recuperación muscular en deportistas de alto rendimiento ha incrementado, generando debate sobre las distintas estrategias empleadas. Debido a las altas cargas de entrenamiento, competencias y a veces poco descanso se presenta un mayor riesgo de lesión y presencia de fatiga muscular. Por ende, existen múltiples estrategias para acelerar la recuperación y prevenir lesiones o un bajo rendimiento deportivo tales como el masaje deportivo, las prendas de compresión, los estiramientos y la electroestimulación (EMS) (Barnett, 2006). Dentro de los principales métodos se encuentra el masaje deportivo, el cual es considerado una técnica que se utiliza para la preparación y recuperación muscular del deportista. Tiene como objetivo optimizar la movilidad articular, proporcionando mayor elasticidad a los tejidos, lo cual debe ir de la mano con el estiramiento; de igual manera, lograr un mayor nivel de energía muscular, mejorando el metabolismo y la nutrición de los tejidos; facilitar los procesos de cicatrización, contribuir a la prevención de lesiones deportivas; y generar un proceso de relajación muscular. Todo esto con el fin de favorecer el rendimiento deportivo y la salud del deportista (Poppendieck et al., 2016). Los

estiramientos consisten en la aplicación de fuerza a las estructuras musculotendinosas para lograr un cambio en su longitud, generalmente con el fin de mejorar el rango de movimiento (ROM) de las articulaciones, reducir el dolor, o prepararse para la actividad física (Ayala et al., 2012). Por su parte, la electroestimulación consiste en aplicar una secuencia de estímulos a través de electrodos ubicados en la superficie de la piel que genera contracciones musculares. Su objetivo es generar un mayor flujo sanguíneo, acelerando la eliminación de metabolitos musculares y reducir el dolor muscular (Silva et al., 2023). Finalmente, las prendas de compresión son un sistema de bombeo hidráulico que produce presión intermitente en las extremidades. Busca mejorar la circulación por vías fisiológicas propias del cuerpo y movilizar el exceso de líquidos de la zona recargada hacia los ganglios linfáticos (Quirós et al., 2021).

Aunado a lo anterior, existen otras propuestas fáciles y rápidas que aparentemente conducen a una mayor recuperación deportiva como lo son la inmersión en agua fría, caliente y de contrastes. Fisiológicamente la inmersión en agua puede provocar cambios dentro del cuerpo que podrían mejorar la recuperación post-ejercicio. Dentro de los cambios más significativos se encuentran cambios del líquido intracelular-intravascular, la reducción del edema muscular y el aumento del gasto cardíaco (sin aumentar el gasto energético), lo que conduce a un aumento del flujo sanguíneo y el posible transporte de nutrientes y desechos a través del cuerpo (Wilcock et al., 2006). Específicamente la inmersión en agua fría (CWI por sus siglas en inglés) debido a que incrementa la vasoconstricción es utilizada como un método para prevenir el edema, reducir la rigidez muscular post-ejercicio, eliminar la fatiga, disminuir el daño muscular inducido por el ejercicio (EIMD) y recuperar el rendimiento deportivo (Xiao et al., 2023).

Por otra parte, la inmersión en agua caliente (HWI por sus siglas en inglés) ejerce un impacto fisiológico principalmente a través de un aumento en la temperatura del tejido cutáneo y

subcutáneo que induce vasodilatación periférica y un aumento posterior en el flujo sanguíneo (Jackman et al., 2023). La terapia de agua de contraste (CWT, alternando inmersiones en agua fría y caliente) acelera la recuperación gracias al "vasobombeo". Más específicamente, la alternancia de vasodilatación y vasoconstricción debido a los cambios de temperatura podría crear fluctuaciones en el flujo sanguíneo, mejorando así la eliminación de subproductos metabólicos y, en consecuencia, acelerando la recuperación (Deley et al., 2021). (Jackman et al., 2023) realizaron un estudio con el objetivo de investigar el efecto de la HWI sobre las respuestas fisiológicas agudas al ejercicio de resistencia, los resultados de este estudio indican que HWI es un método viable de terapia de calor que puede mantener el aumento de la temperatura intramuscular después del ejercicio de resistencia. Sin embargo, debido a la variabilidad de los protocolos de inmersión (temperatura del agua, duración, etc), no se tiene claridad con respecto a la modalidad y dosificación más indicada para esta población y los diferentes indicadores relacionados con la fatiga, por tanto, surge la necesidad de investigar acerca del estado actual de la investigación acerca del método de inmersión más indicado para los procesos de recuperación en atletas de alto rendimiento.

Metodología

Se realizó una revisión de alcance, la cual consistió en mapear sistemáticamente la literatura disponible sobre un tema de interés, en este caso, comparación de los métodos de inmersión entre calor, frío y contraste para la recuperación en atletas de alto rendimiento, con el objetivo de evaluar el estado actual de la investigación acerca de los métodos de inmersión en agua fría, caliente y de contraste en el proceso de recuperación en deportistas de alto rendimiento. Por tanto, la revisión de alcance se llevó a cabo de acuerdo con la metodología Joanna Briggs (JBI System for the

Unified Management, Assessment and Review of Information) y PRISMA para revisiones de alcance (PRISMA-ScR), donde se incluyeron artículos experimentales y de cohorte sin restricción del idioma al periodo 2014-2023.

Estrategia de búsqueda

Se llevó a cabo una búsqueda inicial de artículos científicos a cargo de las dos autoras en las bases de datos PubMed, Science Direct, Springer y Taylor & Francis, para identificar artículos relacionados con la efectividad de la inmersión en agua fría, en agua caliente y baño de contraste. Donde se incluyeron artículos experimentales y de cohorte sin restricción de idioma correspondiente al periodo 2014-2023. Al finalizar la búsqueda, se reunieron todas las citas en el gestor bibliográfico Mendeley a través del cual se realizó la eliminación de artículos duplicados de manera automática y manual (tabla 1).

Tabla 1. Estrategia de búsqueda.

Estrategia de búsqueda	Características
Bases de datos y motores de búsqueda analizados	PubMed, Science Direct, Springer y Taylor & Francis
Cada base de datos tiene una especificación en la búsqueda que irá acompañada de la combinación de operadores booleanos necesarios para cada uno	"AND", "NOT"
Palabras claves incluidas	Water immersion, physical performance, muscular fatigue, athletes, cold, hot, contrast.
Generador de búsqueda específica	Google
Idioma	Sin restricción
Fecha	2014-2023

Criterios de elegibilidad	<p>Criterios de inclusión: Artículos cuya temática incluya como método de recuperación la inmersión en agua fría, caliente y de contraste en deportistas de alto rendimiento, sin presencia de lesiones previas, mayores de edad.</p> <p>Criterios de exclusión: Artículos que incluyan métodos de inmersión en deporte adaptado, literatura gris, trabajos de grado, revisiones sistemáticas.</p>
---------------------------	--

Selección de estudio

Finalizada la fase de búsqueda de artículos en las bases de datos, las dos autoras se encargaron de evaluar de manera independiente los títulos y resúmenes para determinar su elegibilidad. Se excluyeron aquellos artículos que no se relacionen con el tema central ni con las palabras claves. Finalmente, se realizó la lectura completa de los textos seleccionados y se incluyeron aquellos que cumplieran con los criterios de inclusión. Cualquier desacuerdo que surgió entre los participantes de esta revisión de alcance en cada etapa del proceso de selección se resolvió a través de la discusión. Los resultados de la búsqueda se reportaron y se presentaron en un diagrama de flujo de acuerdo con los criterios de PRISMA-ScR.

Extracción de datos (Excel)

Los datos de los artículos incluidos en la revisión de alcance se extrajeron en una matriz de Excel (Versión 16.16.13 (190811)) donde se incluyeron los ítems específicos sobre el tipo de estudio, título, autor, país, objetivo, base de datos, población, técnica, variables y conclusión (Tabla 2).

Tabla 2. Matriz de extracción de datos.

Titulo	Autor/ Año/ País	Diseño del artículo	Base de datos	Objetivo del estudio	Población	Tiempo/ °C	Frecuencia	Método de evaluación	Resultados	Conclusión
Influencia de la terapia de agua caliente post-ejercicio en las adaptaciones al entrenamiento durante 4 semanas en patinadores de élite en pista corta	Thibaut Méline (5) 2021 Francia	Cruzado	Science Direct	Examinar los efectos del HWB regular, realizado inmediatamente después de la última sesión de entrenamiento del día, sobre las capacidades aeróbicas/anaeróbicas y el rendimiento en el campo en pista corta (ST) de élite. patinadores de velocidad.	6 patinadores 3 hombres y 3 mujeres Edad: 21,0 ± 2,4 años Altura: 169 ± 8 cm	HWB 40,3 ± 0,6 °C PR 20,3 ± 0,9 °C 20 min	2 periodos de entrenamiento de 5 semanas (incluidas 4 semanas de PR o HWB)	Antropometría Estimulación del área transversal del músculo del muslo Fuerza isométrica Prueba de Fuerza-Velocidad Pruebas de salto Producción de potencia máxima incremental (iPPO) Pruebas de campo (1.5, 3 y 7 vueltas)	<--> Cargas de entrenamiento (p > 0,05) <--> parámetros antropométricos Excepto PR ↑ CSA muslo total: (p = 0,0348; d = 0,14) S PR ↑ CSA cuádriceps (p = 0,0282; d = 0,15) S PR ↑ CSA isquiotibial (p = 0,0269; d = 0,16) S <--> HWB (p>0,05) Fuerza isométrica máxima extensores de rodilla PR ↓ (p = 0,0038; d = 0,16) S HWB ↑ (p < 0,0001; d = 0,41) M Fuerza isométrica máxima flexores de rodilla HWB ↑ (p = 0,0197; d = 0,20) S <--> Pruebas de salto (SJ y CMJ), Ejercicio fuerza-velocidad, IPPO, pruebas de campo 1.5, 3 y 7 vueltas: (p > 0,05)	Los datos indican que el entrenamiento de cuatro semanas con HWB no afecta el rendimiento físico en estos atletas de élite de pista corta y podría favorecer los efectos positivos sobre la fuerza isométrica máxima.
La inmersión en agua fría mejoró el bienestar de los atletas y el rendimiento en sprints cortos de 10 m 24 horas después de un combate	Montasar Tabben (7) 2018 Túnez	Experimental	PubMed	Examinar el efecto de la inmersión en agua fría (CWI) en la recuperación del rendimiento físico, los marcadores de estrés hematológico y	12 atletas masculinos de Artes Marciales Mixtas (AMM) Edad: 26,5 ± 5,0 años Altura: 182,0 ± 7,4 cm Masa	CWI 10°C PR 29-30°C 15 min	15 min de calentamiento Mediciones PRE-EX 3 rondas de MMA de 5 min - separadas por 1 min de descanso	Modalidades experimentales: Monitoreo frecuencia cardiaca Concentración de lactato en sangre Respuestas perceptuales (índice de Hooper) Actuaciones físicas: Salto en cuclillas (SJ) y	Intensidad del combate <--> FC: CON 186 ± 15 vs CWI 183 ± 15 lpm <--> La-: CON 13,3 ± 1,7 vs CWI 13,1 ± 1,3 mmol.L CWI ↓ rendimiento ≠ CON (POST-R) Sprint 5m: (d=0,64) M Sprint 10m: (d=0,91) L CWI ↑ rendimiento ≠ CON (POST-24) Sprint 10m: (d=0,53) M SJ y CMJ: En comparación con PRE-EX ↓	El uso de CWI dio como resultado una mejor recuperación del rendimiento de sprint de 10 m, así como una mejor percepción del bienestar 24 horas después de una competencia simulada de MMA.

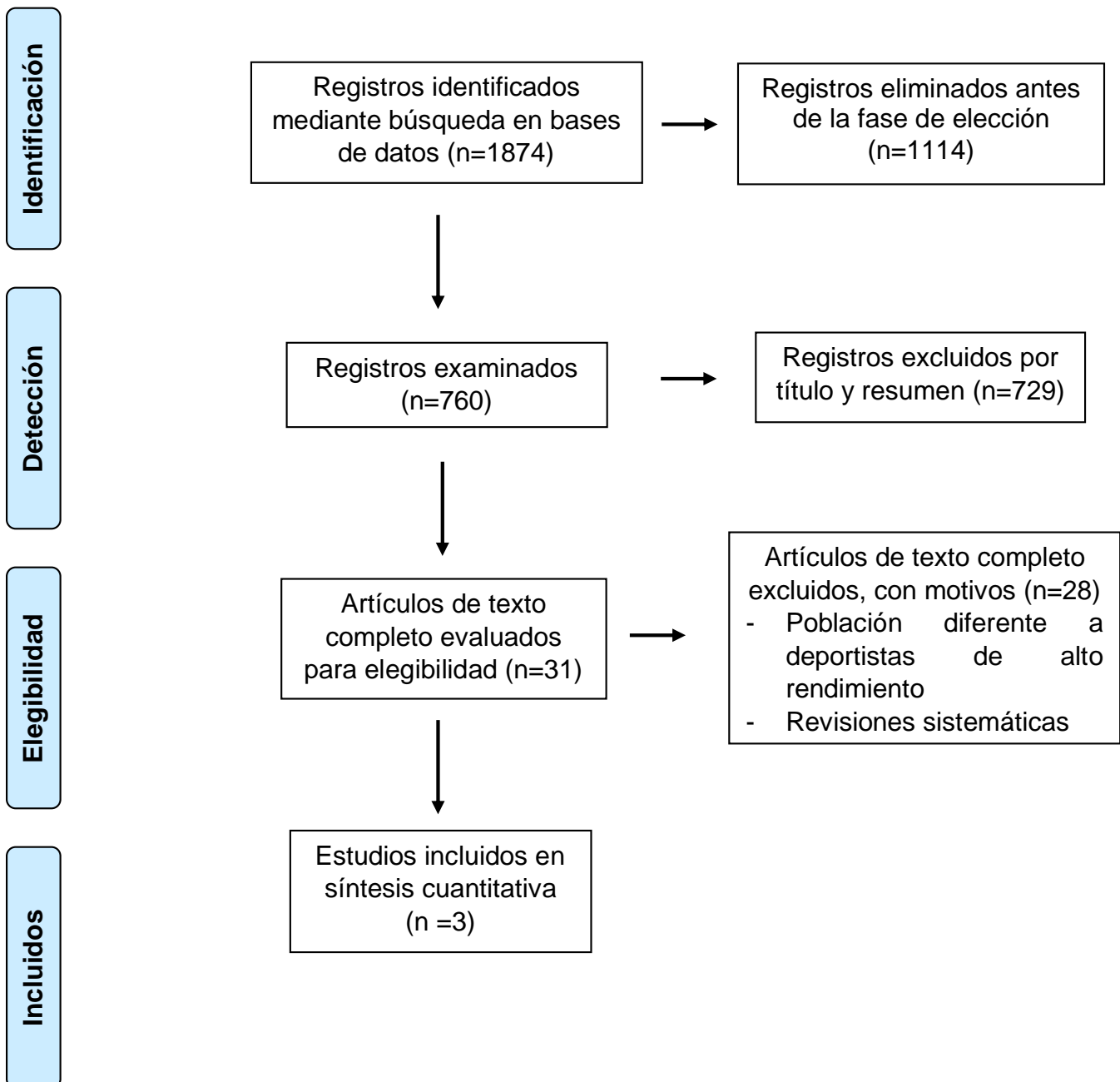
simulado de artes marciales mixtas				el bienestar percibido (es decir, puntuaciones de Hooper) después de una competencia simulada de artes marciales mixtas (MMA).	corporal: 86,2 ± 10,9 kg		pasivo. Mediciones POST-EX >3 min: PR o CWI Mediciones POST-R y POST-24	salto con contra movimiento (CMJ) Tiempo de sprint de 10 m Muestreo y análisis de sangre. Análisis estadístico	rendimiento S a M POST-R en CWI-CON <--> Cortisol, testosterona y relación cortisol/testosterona ↑ S a L (POST-EX y POST-R) ↓ (POST-24) similar a PRE-EX Concentraciones máximas de CK: POST-24 (CWI-CON sin ≠) Hooper POST-24: ≠ de M a L DOMS (d=0,60) M Fatiga (d=1,51), sueño (d=1,36), estrés (d=1,56) L	
Utilización de marcadores de rendimiento para establecer la efectividad de la inmersión en agua fría como modalidad de recuperación en el fútbol de élite.	Jill Alexander (2) 2022 Reino Unido	Aleatorizado	PubMed	Explorar los efectos del ejercicio postfatiga CWI sobre múltiples parámetros de rendimiento en futbolistas de élite, en comparación con el PR durante la mitad de la temporada competitiva.	24 futbolistas masculinos de élite sanos Edad: 20,58 ± 2,55 años Altura: 179,9 ± 5,6 cm Peso: 75,7 ± 7,5 kg	CWI 10°C PR 21°C 11 min	3er día del ciclo de entrenamiento competitivo. - Mediciones antes del entrenamiento. - Inmediatamente después del entrenamiento (IPT) - Inmediatamente después de la intervención (IPI) - 24 horas después de la intervención (24 horas PI)	Temperatura de la superficie de la piel (Tsk) Fuerza excéntrica de los isquiotibiales Fuerza isométrica de los aductores Flexibilidad de los isquiotibiales Percepción de bienestar	<--> Cargas de entrenamiento (p ≥ 0,05) <--> Fuerza isométrica aductores y flexibilidad isquiotibiales (p > 0,05) CWI Fuerza excéntrica de los isquiotibiales (PkF) Pierna izquierda --- Base: 382,3 ± 51,3 IPT: 359,9 ± 37,1(-6,01%) IPI: 359,2 ± 51,1 (-6,04%) 24PI: 357,9 ± 42,9 (-6,4%) IPT, IPI y 24PI: p < 0.001 Pierna derecha --- Base: 417.4 ± 68.0 IPT: 384.6 ± 61.7(-7.9%) IPI: 382.7 ± 79.2(-8.31%) 24PI: 383.3 ± 72.4(-8.16%) IPT, IPI y 24PI: p < 0.001 PR Fuerza excéntrica de los isquiotibiales (PkF) Pierna izquierda ↓ Base: 343.1 ± 35.2 IPT: 319.5 ± 38.1*(-6.8%) IPI: 318.3 ± 32.3*(-7.2%) 24PI: 334.6 ± 37.5*(-	A pesar de la evidencia contradictoria con respecto a la efectividad de CWI y PR, los hallazgos actuales sugieren que CWI puede ser útil para mejorar los déficits potenciales en la fuerza excéntrica de los isquiotibiales.

										<p>2.5%)</p> <p>IPT e IPI: p < 0.001</p> <p>24PI: p 0.476</p> <p>Pierna derecha</p> <p>↓ Base: 382.4 ± 30.2 IPT: 351.6 ± 28.1*(-8.0%)</p> <p>IPI: 349.4 ± 43.9*(-6.5%) 24PI: 364.4 ± 32.3*(-4.7%)</p> <p>IPT e IPI: p 0.002</p> <p>24PI: p 0,03</p>
<p>Abreviaturas: pista corta (ST), baño de agua caliente (HWB), periodo de entrenamiento 1 (TP1), periodo de entrenamiento 2 (TP2), área transversal muscular (CSA), producción de potencia máxima incremental (iPPO), inmersión en agua fría (CWI), artes marciales mixtas (MMA), recuperación pasiva (PR), grupo control (CON), antes del ejercicio (PRE-EX), inmediatamente después del ejercicio (POST-EX), inmediatamente después de la recuperación (POST-R), 24 h después (POST-24), salto en cuclillas (SJ), salto con contra movimiento (CMJ), frecuencia cardiaca (FC), latidos por minuto (lpm), ácido láctico (La), milimoles de azúcar por litro (mmol/L), efecto pequeño (S), efecto moderado (M), efecto grande (L), creatina quinasa (CK), temperatura de la superficie de la piel (Tsk), inmediatamente después del entrenamiento (IPT), inmediatamente después de la intervención (IPI), 24 horas después de la intervención (24 horas PI), Fuerza máxima (PkF), Torsión máxima (PkT), Diferencia porcentual en comparación con las puntuaciones iniciales para la fuerza excéntrica de los isquiotibiales para PkT y PkF, datos de extremidades unilaterales y bilaterales (%), Diferencia significativa en comparación con el momento inicial (*), significancia (p), tamaño del efecto (d), No hubo cambios significativos (<-->), estable (---), aumento (↑), disminuyo (↓)</p>										

Análisis y presentación de los datos

Se realizó la búsqueda bajo los lineamientos de la declaración Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA).

Declaración PRISMA-SCRe



Resultados:

Después de una búsqueda exhaustiva se identificó que los métodos más frecuentes para la recuperación en atletas de alto rendimiento fueron la inmersión en agua caliente y fría.

Con respecto a la dosificación para el protocolo de agua caliente la temperatura fue de $40,3 \pm 0,6$ °C, una duración de 20 minutos y una frecuencia de 16 sesiones. Para el protocolo de agua fría se identificó una temperatura de 10°C, una duración de 13 ± 2 minutos y una única sesión.

Según el estudio realizado por (Méline et al., 2021), indicaron que la recuperación con inmersión en agua caliente no afecta el rendimiento físico en atletas de élite de pista corta, favoreciendo los efectos positivos sobre la fuerza isométrica máxima de los extensores ($p < 0,0001$) y flexores de la rodilla ($p = 0,0197$). Por otro lado, el estudio realizado por (Tabben et al., 2018), mostró que la inmersión en agua fría aumenta el rendimiento del Sprint de 10 metros ($d= 0,53$) en atletas masculinos de Artes Marciales Mixtas en comparación con la recuperación pasiva 24 horas después de la primera intervención, asimismo, tuvo un efecto positivo en el índice de bienestar de Hooper sobre los cambios mediados por el ejercicio dentro de las variables de estrés ($d=1,56$), fatiga ($d=1,51$), sueño ($d=1,36$) y DOMS ($d=0,60$). Desde otra perspectiva, el estudio realizado por (Alexander et al., 2022), evidenció que la inmersión en agua fría es más eficiente para la recuperación de la fuerza excéntrica del grupo muscular de los isquiotibiales ($p < 0.001$) en futbolistas masculinos de élite después del entrenamiento.

Discusión:

El propósito de esta revisión fue evaluar el estado actual de la literatura acerca de los diferentes protocolos de inmersión indicados en los procesos de recuperación en atletas de alto rendimiento a través de una revisión de alcance. Los estudios registrados evidenciaron que los métodos más utilizados para la recuperación en atletas de alto rendimiento fueron la inmersión en agua caliente a una temperatura de 40°C y fría a 10°C. Similar a los resultados encontrados por (Kuswahyudi et al., 2020), Iuines realizaron un estudio en Asia donde se utilizó el método de inmersión de HWB a una temperatura de 37°C y se evidenció una reducción de lactato en sangre ($p=0,001$). Por otra parte, (Gaspar-Junior et al., 2022) realizaron un estudio en Brasil y encontraron que la CWI a una temperatura de 5°C sería más efectiva en la recuperación de la activación del cuádriceps ($p < 0,001$). En este contexto podemos determinar que ambos protocolos han demostrado presentar beneficios significativos en marcadores bioquímicos y musculares.

Con respecto al método de inmersión en agua caliente, (Méline et al., 2021) implementaron un protocolo en patinadores de velocidad de pista corta con una temperatura de 40°C durante 20 minutos posterior a la última sesión de entrenamiento, dentro de las variables que mostraron un efecto moderadamente significativo se encontró la fuerza isométrica máxima de los músculos extensores ($p < 0,0001$) y flexores de la rodilla ($p = 0,0197$) 24 horas después de la intervención. De igual manera, un estudio realizado en Asia por (Kuswahyudi et al., 2020) en atletas aficionados de Sepak Takraw, emplearon una temperatura de 37°C durante 10 minutos después del partido, la variable que tuvo una diferencia significativa fue la reducción del lactato 15 minutos después de la intervención ($p=0,001$). En los dos artículos previamente mencionados, se observa una correlación significativa en cuanto a la recuperación muscular. Esto se debe al aumento de la

producción de proteínas de choque térmico (HSP) provocadas por el aumento de la temperatura, lo cual facilitan el incremento del flujo sanguíneo a través de los vasos capilares y contribuyen a eliminar del ácido láctico, lo que ayuda a la regeneración del musculo esquelético (Méline et al., 2021).

Para el protocolo de CWI de este estudio, (Tabben et al., 2018), mostraron que el protocolo con una temperatura de 10°C durante 15 minutos aumentó el rendimiento del Sprint de 10 metros ($d=0,53$) y demostró una mejora general en el índice de bienestar en atletas masculinos de Artes Marciales Mixtas 24 horas después de la primera intervención, estos resultados coinciden con lo reportado por (Leeder et al., 2019) donde se evidenció que el sprint del grupo control fue moderadamente más lento que el del grupo de CWI a una temperatura de 14°C durante 14 minutos 24 horas después del torneo, teniendo esta un efecto significativo en el sprint ($p=0,034$).

El último artículo revisado en este estudio fue el de (Alexander et al., 2022), donde evidenció que la CWI a una temperatura de 10°C durante 11 minutos mantuvo estable la recuperación de la fuerza excéntrica del grupo muscular de los isquiotibiales en futbolistas masculinos de élite después del entrenamiento en comparación con el grupo que implementó recuperación pasiva ($p < 0.001$). Sin embargo, cabe destacar que los autores reportaron que los deportistas no alcanzaron el rango terapéutico de la temperatura superficial de la piel (10-15°C) que la literatura considera apropiado para inducir efectos fisiológicos, -temperatura alcanzada en los isquiotibial ($16,9 \pm 1,8^\circ\text{C}$)-. Por otra parte, el estudio realizado por (Kim & Joo, 2023), demostró que la CWI a una temperatura de 8°C durante 10 minutos en futbolistas de élite no tuvo efectos significativos en la recuperación de la fuerza excéntrica de las isquiotibiales 48 horas después de la intervención ($p < 0,05$). No

obstante, se evidenció que la fuerza muscular regresó a los valores iniciales 7 días después de la intervención. De igual manera, (Argus et al., 2017), reportaron que la CWI a una temperatura de 15°C durante 14 minutos no presentó cambios en la recuperación de la fuerza isométrica de los extensores de rodilla ($p=0,05$) a corto plazo (<4 h). Estos hallazgos coinciden con el estudio de (Vieira et al., 2016), donde mostraron que la CWI a una temperatura de 5°C o 15°C durante 20 minutos no fue efectiva para lograr la recuperación de la fuerza isométrica de los extensores de rodilla ($p=0,73$) 24 horas después de la intervención. En este contexto, (Roberts et al., 2015), argumentaron que la CWI genera vasoconstricción, conduciendo a una reducción del flujo sanguíneo teniendo implicaciones importantes en el metabolismo muscular durante la recuperación del ejercicio, puesto que, puede aumentar el catabolismo de las proteínas del músculo esquelético y así reducir el anabolismo mediante la inhibición de las vías de señalización de las proteínas. Aunque los resultados no son concluyentes y en algunas ocasiones contradictorios, existe la necesidad de llevar a cabo investigaciones futuras que incluyan protocolos con diferentes dosificaciones, frecuencias y temperatura en deportistas de diferentes disciplinas.

Conclusión:

Con respecto los hallazgos de este estudio se pueden determinar que la implementación del protocolo de inmersión en agua caliente como método de recuperación en atletas de alto rendimiento es una estrategia útil para mejorar la fuerza isométrica máxima de los extensores de rodilla en patinadores.

Con respecto al protocolo de inmersión en agua fría no se evidenciaron efectos significativos en las variables asociadas a la fatiga muscular, no obstante, si se identificó una mejora general en el índice de bienestar en atletas masculinos de Artes Marciales Mixtas. En este contexto, se

recomienda que en futuras investigaciones se evalúen diferentes grupos musculares y disciplinas deportivas para adquirir un mayor entendimiento del comportamiento de los indicadores de la fatiga muscular y de bienestar.

Agradecimientos:

Queremos expresar nuestros sinceros agradecimientos a Katherine González Ruiz por su orientación experta, apoyo constante y valiosos comentarios a lo largo de este proceso. Su profundo conocimiento y dedicación fueron fundamentales para el éxito de este proyecto.

No podemos pasar por alto el apoyo incondicional de nuestras familias y amigos. A nuestros padres les agradecemos por su amor, paciencia y constante aliento. A nuestros amigos cercanos, les agradecemos por estar siempre para nosotras. Este logro no habría sido posible sin su apoyo.

Referencias

- Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2005). Models to Explain Fatigue during Prolonged Endurance Cycling. *Sports Medicine*, 35(10), 865-898. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00004>
- Alexander, J., Carling, C., & Rhodes, D. (2022). Utilisation of performance markers to establish the effectiveness of cold-water immersion as a recovery modality in elite football. *Biology of Sport*, 39(1), 19-29. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.103570>
- Argus, C. K., Broatch, J. R., Petersen, A. C., Polman, R., Bishop, D. J., & Halson, S. (2017). Cold-Water Immersion and Contrast Water Therapy: No Improvement of Short-Term Recovery After Resistance Training. *International Journal of Sports*

- Physiology and Performance*, 12(7), 886-892. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0127>
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., & Cejudo, A. (2012). El entrenamiento de la flexibilidad: Técnicas de estiramiento. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 5(3), 105-112. [https://doi.org/10.1016/S1888-7546\(12\)70016-3](https://doi.org/10.1016/S1888-7546(12)70016-3)
- Barnett, A. (2006). Using Recovery Modalities between Training Sessions in Elite Athletes. *Sports Medicine*, 36(9), 781-796. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-00005>
- Deley, G., Cometti, C., Paizis, C., & Babault, N. (2021). Effects of Light Pedaling Added to Contrast Water Immersion for Recovery after Exhaustive Exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413068>
- Gaspar-Junior, J. J., Dellagrana, R. A., Barbosa, F. S. S., Anghinoni, A. P., Taciro, C., Carregaro, R. L., Martinez, P. F., & Oliveira-Junior, S. A. (2022). Efficacy of Different Cold-Water Immersion Temperatures on Neuromotor Performance in Young Athletes. *Life*, 12(5), 683. <https://doi.org/10.3390/life12050683>
- Halson, S. L., & Jeukendrup, A. E. (2004). Does Overtraining Exist?: An Analysis of Overreaching and Overtraining Research. *Sports Medicine*, 34(14), 967-981. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434140-00003>
- Jackman, J. S., Bell, P. G., Van Someren, K., Gondek, M. B., Hills, F. A., Wilson, L. J., & Cockburn, E. (2023). Effect of hot water immersion on acute physiological responses following resistance exercise. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1213733>
- Kim, H.-W., & Joo, C.-H. (2023). Effects of cold water immersion and protein intake combined recovery after eccentric exercise on exercise performance in elite soccer players. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 19(2), 126-133. <https://doi.org/10.12965/jer.2244596.298>
- Kuswahyudi, K., Dlis, F., Setiakarnawijaya, Y., Gani, A., Zulham, Z., Wattimena, F. Y., & Winata, B. (2020). Effect of Hot-Water Immersion and Foam Rolling on Recovery in Amateur Sepaktakraw Players. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 8(6), 498-504. <https://doi.org/10.13189/saj.2020.080624>
- Leeder, J. D. C., Godfrey, M., Gibbon, D., Gaze, D., Davison, G. W., Van Someren, K. A., & Howatson, G. (2019). Cold water immersion improves recovery of sprint speed following a simulated tournament. *European Journal of Sport Science*, 19(9), 1166-1174. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1585478>
- Méline, T., Solsona, R., Antonietti, J.-P., Borrani, F., Candau, R., & Sanchez, A. M. J. (2021). Influence of post-exercise hot-water therapy on adaptations to training over 4 weeks in elite short-track speed skaters. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 19(2), 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2021.01.001>
- Poppendieck, W., Wegmann, M., Ferrauti, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Meyer, T. (2016). Massage and Performance Recovery: A Meta-Analytical Review. *Sports Medicine*, 46(2), 183-204. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0420-x>
- Quirós, D. A. G., Barker, E. C., & Roselló-Araya, M. (2021). Beneficios del abordaje fisioterapéutico en la recuperación del dolor muscular de aparición tardía y su influencia en el rendimiento deportivo. *Revista Terapéutica*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.33967/rt.v15i1.122>

- Roberts, L. A., Raastad, T., Markworth, J. F., Figueiredo, V. C., Egner, I. M., Shield, A., Cameron-Smith, D., Coombes, J. S., & Peake, J. M. (2015). Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and long-term adaptations in muscle to strength training. *The Journal of Physiology*, 593(Pt 18), 4285-4301. <https://doi.org/10.1113/JP270570>
- Silva, G., Goethel, M., Machado, L., Sousa, F., Costa, M. J., Magalhães, P., Silva, C., Midão, M., Leite, A., Couto, S., Silva, R., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2023). Acute Recovery after a Fatigue Protocol Using a Recovery Sports Legging: An Experimental Study. *Sensors*, 23(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/s23177634>
- 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, 1542. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01542>
- Vieira, A., Siqueira, A. F., Ferreira-Junior, J. B., do Carmo, J., Durigan, J. L. Q., 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. <https://doi.org/10.1055/s-0042-111438>
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Physiological Response to Water Immersion. *Sports Medicine*, 36(9), 747-765. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-00003>
- Xiao, F., Kabachkova, A. V., Jiao, L., Zhao, H., & Kapilevich, L. V. (2023). Effects of cold water immersion after exercise on fatigue recovery and exercise performance—Meta analysis. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1006512>