

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: LOS EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EN EL MEDIO ACUÁTICO PARA ATLETAS DE CARRERAS

Francisco Roselló Hudson^{1*} y Ana Genís Ros¹.

¹Universidad Miguel Hernández de Elche (España).

OPEN ACCES

***Correspondencia:**
Francisco Roselló Hudson
Centro de Investigación del Deporte
(CID), Universidad Miguel Hernández
de Elche. Calle Teniente Ruiz Bru,
26,5 IZ, 03201, Elche (España)
francisco.rosello@goumh.umh.es

Funciones de los autores:
Los dos autores han participado por igual en todas las partes de la revisión. Ambos autores han estado implicados tanto en la selección, lectura y comprensión de los artículos seleccionados, dividiendo el total de los artículos entre ellos. Posteriormente, ambos han realizado conjuntamente la redacción del trabajo. Además, los dos autores han aprobado esta versión final de la revisión.

Recibido: 25/09/2022
Aceptado: 26/10/2022
Publicado: 31/10/2022

Citación:
Roselló-Hudson, F., & Genís-Ros, A. (2022). Revisión bibliográfica: Los efectos del entrenamiento en el medio acuático para atletas de carreras. *Revista de Investigación en Actividades Acuáticas*, 6(12), 78-91.
<https://doi.org/10.21134/riaa.v6i12.1929>



Creative Commons License
Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento- NoComercial-Compartir-Igual 4.0 Internacional

Resumen

Antecedentes: El medio acuático es comúnmente utilizado para el desarrollo de múltiples actividades físicas debido a las propiedades físicas del agua. Partiendo de este principio surge la duda de si este medio puede ser de utilidad para optimizar el proceso de entrenamiento en el atletismo.

Objetivos: El objetivo del presente trabajo era recopilar información sobre los efectos del entrenamiento en el medio acuático y las consideraciones básicas a la hora de llevarlo a cabo para el desarrollo de las cualidades físicas en el atletismo, abarcando la prevención, rehabilitación de lesiones y la mejora del rendimiento.

Método: Se realizó una revisión de artículos que comprobaron los efectos del entrenamiento en el medio acuático para el desarrollo deportivo y la prevención y readaptación de lesiones en el atletismo o en cualidades que marcan el rendimiento en este. Para ello, se utilizaron las bases de datos Embase, Dialnet y Pubmed.

Resultados: Para llevar a cabo esta revisión se incluyeron un total de 9 artículos. Los resultados mostraron que el medio acuático reduce las fuerzas de reacción verticales del suelo, y por ende el impacto, reduciendo así el riesgo de lesión, al mismo tiempo que permite obtener beneficios similares al medio terrestre, relacionados con variables como la pliometría y el fitness cardiorrespiratorio.

Conclusiones: El entrenamiento para el atletismo en el medio acuático permite desarrollar los determinantes del rendimiento reduciendo el riesgo de lesión. No obstante, para que se de esto y se puedan aprovechar las bondades del agua, es necesario entender a la perfección como esta afecta al organismo cuando este está en inmersión.

Palabras clave: "atletismo", "entrenamiento", "entrenamiento en el agua", "carrera a pie", "pliometría", "larga distancia", "lesión muscular", "medio acuático".

The effects of training in the aquatic environment for racing athletes, a literature review

Background: The aquatic environment is commonly used for the development of multiple physical activities due to the physical properties of water. Starting from this principle, the question arises as to whether this means can be useful to optimize the training process in athletics.

Objectives: The objective of this work was to collect information on the effects of training in the aquatic environment and the basic considerations when carrying it out for the development of physical qualities in athletics, covering injury prevention and rehabilitation and improving performance.

Method: A review of articles that have verified the effects of training in the aquatic environment for sports development, the prevention and rehabilitation of injuries in athletics or in qualities that mark performance was carried out. For this, the Embase, Dialnet and Pubmed databases were used.

Results: A total of 9 articles were included to carry out this review. The results showed that training in the aquatic environment reduces the vertical ground reaction forces, and therefore the impact, thus reducing the risk of injury, while it allows obtaining similar benefits to the land environment related to variables such as plyometrics and cardiorespiratory fitness.

Conclusions: Athletics training in the aquatic environment allows the development of performance determinants, reducing the risk of injury. However, for this to happen and to take advantage of the benefits of water, it is necessary to fully understand how it affects the body when it is immersed.

Keywords: "athletics", "training", "water training", "running", "plyometric", "long distance", "muscle injury", "aquatic environment".

Revisão de literatura: Os efeitos do treinamento no meio aquático para atletas de corrida

Introdução: O ambiente aquático é comumente utilizado para o desenvolvimento de múltiplas atividades físicas devido às propriedades físicas da água. Partindo deste princípio, questiona-se se este meio pode ser útil para otimizar o processo de treino no atletismo.

Objetivos: O objetivo deste trabalho foi coletar informações sobre os efeitos do treinamento no meio aquático e as considerações básicas a serem realizadas para o desenvolvimento das qualidades físicas no atletismo, incluindo prevenção, reabilitação de lesões e melhoria do desempenho.

Método: Foi realizada uma revisão de artigos que verificaram os efeitos do treinamento no meio aquático para o desenvolvimento esportivo e a prevenção e reabilitação de lesões no atletismo ou nas qualidades que marcam o desempenho no mesmo. Para isso, foram utilizadas as bases de dados Embase, Dialnet e Pubmed.

Resultados: Um total de 9 artigos foram incluídos para realizar esta revisão. Os resultados mostraram que o meio aquático reduz as forças de reação vertical do solo e, portanto, o impacto, reduzindo assim o risco de lesões, ao mesmo tempo em que permite obter benefícios semelhantes ao meio terrestre, relacionados a variáveis como pliométria e aptidão cardiorrespiratória.

Conclusões: O treinamento para o atletismo no meio aquático permite o desenvolvimento de determinantes de desempenho, diminuindo o risco de lesões. No entanto, para que isso aconteça e aproveite os benefícios da água, é necessário entender completamente como ela afeta o corpo quando está imersa.

Palavras chaves: "atletismo", "treinamento", "treino na água", "corrida", "pliométria", "longa distância", "lesão muscular", "ambiente aquático".

Introducción

A lo largo de este texto se va a tratar de mostrar cuáles son los efectos de llevar a cabo en el medio acuático el entrenamiento de distintas cualidades comúnmente desarrolladas para mejorar el rendimiento de las pruebas de carrera en el atletismo, y como esto puede resultar beneficioso para el atleta.

Así pues, esta introducción contará de tres partes. En primer lugar, las propiedades físicas del agua que hacen que este medio sea tan interesante. En segundo lugar, se analizará la epidemiología lesional en el atletismo, con la finalidad de posteriormente valorar si el medio acuático permite reducir el riesgo de lesión en el desarrollo del entrenamiento de atletismo. Por último, se mostrarán cuáles son los principales determinantes del rendimiento en pruebas de carrera en el atletismo, para posteriormente valorar si se puede dar un desarrollo óptimo de estos en el medio acuático al mismo tiempo que se aprovechan todas sus bondades.

Según Timpka et al., (2014), el entrenamiento deportivo y las competiciones en atletismo suponen un considerable riesgo de lesiones y enfermedades (físicas o fisiológicas no relacionadas con la lesión), siendo las lesiones por sobreuso la principal causa del deterioro del rendimiento y del tiempo perdido por lesión en atletismo. Estas lesiones son producidas por mecanismos agudos o graduales que se pueden cronificar en atletas que retoman el entrenamiento deportivo.

Dada esta información, surge la curiosidad de saber si existen medios o recursos que contribuyan a prevenir o tratar estas lesiones, permitiendo a los atletas mantener ciertos volúmenes de entrenamiento sin que estos supongan una carga tan elevada para ellos o bien, una vez presente la lesión, acelerar el proceso de rehabilitación y la vuelta al entrenamiento deportivo.

El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión de la literatura con la finalidad de conocer los efectos y beneficios de llevar a cabo el entrenamiento en el medio acuático, y valorar así el interés de esta tendencia para el desarrollo deportivo en el atletismo.

No obstante, antes de esto, es necesario contextualizar algunos aspectos relacionados con el medio acuático y con la prevalencia lesional en el atletismo, con la finalidad de entender por qué el medio acuático es un recurso tan interesante para tratar o prevenir lesiones en el atletismo.

Las propiedades físicas y terapéuticas del agua.

En primer lugar, presentaremos las principales bondades del medio acuático que permiten que este sea un recurso tan valioso.

Según Becker (2009), la inmersión en el medio acuático tiene distintos efectos biológicos. El conocimiento de estos efectos biológicos del agua puede ayudar a la rehabilitación clínica a elaborar planes de tratamiento óptimos, por medio de la correcta prescripción de las actividades acuáticas, la temperatura del agua y la duración del tratamiento. Estas propiedades o efectos biológicos son:

Densidad: La densidad del organismo es ligeramente menor a la del agua por lo que esta ofrece cierta hipo gravidez cuando el cuerpo está en inmersión completa, siendo esta de entorno a un valor de 0,974.

Presión Hidrostática: La presión hidrostática es la fuerza que ejerce el agua sobre el organismo, y esta es de 1 mm Hg por 1,36 cm de superficie corporal cuando se está en inmersión. Esta afecta a distintas variables del organismo relacionadas con la sangre que posteriormente iremos introduciendo.

Flotabilidad: A medida que el cuerpo se sumerge en el agua, esta es desplazada, creando la fuerza de flotabilidad. Un humano con una gravedad específica de 0,97 obtendría el equilibrio de flotabilidad cuando el 97% de su cuerpo está sumergido. A medida que una persona se sumerge, progresivamente va descargando el peso que recae en sus articulaciones. Una persona sumergida hasta la sínfisis del pubis presenta una efectiva descarga del 40% de su peso corporal. Si esta se sumerge hasta el ombligo, esta descarga es aproximadamente del 50%. Inmersiones hasta la apófisis xifoides reducen el peso corporal en un 60% o más, dependiendo de si los brazos están por encima de la cabeza o a lo largo del tronco.

Viscosidad: La viscosidad hace referencia a la magnitud de fricción interna específica a un fluido durante el movimiento. Un segmento corporal moviéndose respecto al agua está sometido a una resistencia que plantea el fluido. La resistencia por viscosidad del agua incrementa cuanto más fuerza se ejerce en contra de esta, pero esa resistencia cae a 0 casi inmediatamente al ceder dicha fuerza debido a que existe solo una pequeña cantidad de momento de inercia ya que la viscosidad del agua contrarresta los momentos inerciales. Esto permite un mejor control de las actividades de fortalecimiento asegurando el confort del paciente.

Termodinámica del agua: La utilidad terapéutica del agua depende tanto de su habilidad para mantener el calor como de su habilidad de transferir energía. Esta propiedad de conductividad térmica del agua, combinada con su alto calor específico hacen del uso de este medio en la rehabilitación una herramienta muy versátil, pues mantiene el calor o el frío mientras lo transfiere fácilmente al segmento corporal sumergido. Es común hacer uso de tanques de inmersión con agua fría (10-15^o) para acelerar la recuperación de lesiones por sobreuso y disminuir el dolor muscular. No obstante, hay cierta controversia en la literatura respecto a esta temática.

A medida que avancemos a lo largo de este trabajo, iremos mencionando los beneficios que genera el medio acuático en distintas variables, referenciando estos principios.

Lesiones en el atletismo. Conceptualización y epidemiología.

En segundo lugar, en relación con el apartado lesional, para poder prevenir y tratar las lesiones en el atletismo es necesario conocer la epidemiología lesional en dicho deporte (Lambert et al., 2020).

En relación con esta epidemiología lesional, se debe conocer el tipo de lesión, el mecanismo de producción y la prevalencia lesional en las distintas disciplinas (Lambert et al., 2020). Así pues, se procede a describir los tipos de mecanismos de lesiones que existen.

Según Timpka et al., (2014), podemos clasificar los mecanismos de producción de la lesión en:

Sudden onset: O de inicio repentino, se refiere a una condición que resulta de un episodio perfectamente identificable que resulta en un inicio rápido de la sensación de angustia o de discapacidad y que se desarrolla durante minutos, segundos o menos.

Las lesiones de inicio repentino se pueden clasificar según la causa del incidente en:

- **Acute sudden onset** (lesiones traumáticas): definidas como una condición causada por una única transferencia de energía externa identificable (un traumatismo). Ejemplos son una fractura ósea por una caída o un desgarramiento de ligamentos causados por el contacto con un obstáculo, eso sí, estando ese ligamento en un buen estado.
- **Gradual sudden onset** (Lesiones por uso excesivo de inicio repentino): En esta se produce un deterioro del tejido, el

cual no es capaz de responder de igual manera a las cargas. Múltiples episodios de transferencia de energía podrían resultar en este tipo de lesión. Seguidamente se da un evento en el que la lesión aparece de manera repentina. Ejemplos de uso excesivo repentino son el desgarrar de tendones.

- **Gradual repetitive onset:** incidente de inicio gradual se refiere a un episodio que, desarrollado durante horas, días o más cuyo evento de inicio no es identificable. Los ejemplos de condiciones de inicio gradual incluyen síndromes de sobre entrenamiento y lesiones por sobreuso, como tendinopatías.

Definidos los mecanismos de producción de lesiones, presentamos la prevalencia lesional en el atletismo. Para ello haremos referencia a un trabajo desarrollado por Lambert et al., (2020), en el cual se realiza un cuestionario en el que participaron 743 atletas. Este cuestionario contaba con 139 ítems en el que se recopilaba información sobre la prevalencia lesional en un ciclo olímpico, en los años que transcurren de las olimpiadas de Londres 2012 a las de Rio de Janeiro 2016.

Durante el periodo el 64% de los atletas sufrieron al menos una lesión. De estas lesiones, el 83% ocurrieron en las extremidades inferiores, afectando a estructuras relacionadas con el componente contráctil, el cartílago, los ligamentos y los huesos.

Se estableció un ranking con las 10 lesiones con mayor incidencia en el atletismo.

Estas fueron:

1. Contractura muscular → 13%
2. Lesiones en ligamentos del pie → 8%
3. Lesiones en ligamentos del tobillo → 7%
4. Lesiones de rodilla inespecíficas → 6%
5. Fracturas en los pies → 5%
6. Lesiones en el cartílago articular de la rodilla → 4%
7. Lesiones musculares del peroné → 4%
8. Lesiones en meniscos → 4%
9. Lesiones en la musculatura del pie → 3%
10. Lesiones capsulares → 2%

Las lesiones con mayor prevalencia según la disciplina deportiva del atletismo fueron:

1. Velocidad: Contractura muscular (34%), lesiones en los ligamentos del pie (7%), lesiones en los ligamentos del tobillo (6%).
2. Carreras de media distancia: Contractura muscular (16%), lesiones en los ligamentos del pie (11%).
3. Carreras de larga distancia: Lesiones en los ligamentos del pie (10%)
4. Saltos: Contractura muscular (15%), lesiones en los ligamentos del tobillo (8%).
5. Lanzamientos: las lesiones con mayor prevalencia fueron la lesión en ligamentos del codo (10,6%), ligamentos del tobillo (8,5%) y lesión en la musculatura del codo y en los meniscos por igual con un 7,4%
6. Pruebas combinadas (Decatlón (hombres) y Heptatlón (mujeres)): Lesiones en ligamentos del tobillo (12%).

El 75% de las lesiones se daban entrenando. Las lesiones musculares del muslo fueron las más comunes, sin embargo, las lesiones de los ligamentos del pie causaron la caída más alta en el rendimiento en pruebas de velocidad.

Acercándose el momento de la competición, final del ciclo olímpico incrementa la aparición de lesiones posiblemente debido a un incremento de la intensidad.

Para reforzar la afirmación de Timpka, et al., (2014) en la que afirma que las lesiones por sobreuso la principal causa del deterioro del rendimiento y del tiempo perdido por lesión en atletismo, citamos un estudio realizado por Jacobsson, et al., (2012); en el que exponen lo siguiente:

- En el deporte, las lesiones por sobreuso son vistas como el resultado de la aplicación de repetidos microtraumatismos sin un único punto identificable para la condición, para el momento de inicio de la lesión.
- En los estadios iniciales de la lesión la reducción de la carga puede permitir al tejido lesionado volver a un nivel previo estructural y de capacidad. A niveles más degenerativos existe poca capacidad de reversibilidad.

Este estudio se trató nuevamente de un cuestionario en el cual 321 atletas jóvenes y adultos participaron. Los resultados de dicho cuestionario fueron los siguientes:

- La mayor prevalencia y prevalencia puntual lesional fue la inflamación y el dolor mediante gradual onset. (20.9%)
- Las lesiones por mecanismo sudden onset como los esguinces, contracturas y roturas, presentaron una prevalencia menor (16.5%).
- La región con más prevalencia de lesión fue la rodilla y la parte inferior de la pierna, seguido de las lesiones en el tendón de Aquiles, el tobillo y el pie o dedos del pie (11,7%)
- 9 de cada 10 lesiones afectaron a las extremidades inferiores.

Así pues, este estudio concluyó que la mayoría de las lesiones registradas fueron atraumáticas y de carácter gradual, asociadas al sobreuso. Existe una necesidad de prevención de lesiones a nivel secundario (prevenir que los procesos inflamatorios se vuelvan crónicos) y terciario (evitando las consecuencias de las limitaciones en el rendimiento debido a las condiciones crónicas).

Así pues, desarrollar programas de prevención primaria para atletas jóvenes sería interesante.

El entrenamiento del atleta y los determinantes del rendimiento.

Si realizar parte del entrenamiento del atleta en el medio acuático permitiese reducir la carga y el impacto del entrenamiento, disminuyendo así el riesgo de lesión y manteniendo unos beneficios similares en los determinantes del rendimiento en atletismo, podríamos estar frente a una herramienta muy útil para optimizar el entrenamiento deportivo este deporte.

Sin embargo, para poder tratar este tema en cuestión, es necesario conocer cuáles son los factores determinantes del rendimiento en el atletismo, en especial en aquellas pruebas a las que va enfocado a las carreras de velocidad, media distancia y larga distancia.

En primer lugar, hablaremos del entrenamiento pliométrico y sus efectos en el rendimiento de las modalidades mencionadas:

La **pliometría** se puede recomendar como una forma eficaz de acondicionamiento físico para aumentar el rendimiento en la velocidad; sin embargo, los efectos del entrenamiento de la pliometría podrían variar debido a un gran número de variables, como la duración del programa, el volumen de entrenamiento o intensidad (De Villarreal, Requena & Cronin, 2012)

En este estudio de De Villarreal et al., (2012) concluyen que el entrenamiento de pliometría, sumado a un programa de acondicionamiento general de los atletas, mediante las distintas metodologías de fuerza, resistencia y velocidad, puede contribuir a que se logre un alto nivel de potencia explosiva en las piernas y dinamismo en el desempeño atlético.

Maćkała & Fostiak (2015) realizaron un estudio en el que se demostró que 6 entrenamientos pliométricos completos realizados durante 2 semanas (3 sesiones/semana) llevaron a mejoras en todas las medidas de velocidad y potencia explosiva de las extremidades inferiores y velocidad máxima. Además, en dicho estudio, los valores de cambio promedio fueron particularmente evidentes en la medición de saltos verticales. La altura del CMJ y SJ mejoraron en un 10,2 y un 10,4 % respectivamente, lo que indica la eficiencia del entrenamiento pliométrico.

Entre otros factores, la capacidad en el salto vertical es un indicador del rendimiento en la velocidad. Mejoras en esta variable afectan significativamente la capacidad de sprint (Alves et al., 2021).

En cuanto a los beneficios del entrenamiento pliométrico en carreras de media y larga distancia, existe cierta evidencia.

Según Ramírez-Campillo et al., (2014), la combinación de ejercicios pliométricos con entrenamiento de resistencia aumenta la fuerza y la resistencia. Para ello se realizó dos entrenos a la semana separados por 48h para garantizar la recuperación. En este caso, el grupo que incorporó el entrenamiento de pliometría mejoró su tiempo en la distancia de 2,4 Km significativamente en comparación con el grupo control.

En este artículo, se cita a algunos autores que han expresado su preocupación respecto a la superficie de entrenamiento utilizada durante el entrenamiento pliométrico debido a su especulado alto índice de lesión/daño. Esto va en la línea de este trabajo que pretende recopilar información sobre la posibilidad de llevar a cabo este entrenamiento en una superficie que permita reducir el riesgo de lesión, como es el agua.

Además, Saunders et al., (2006) demostraron mediante un estudio que el entrenamiento pliométrico **mejora la economía de carrera (EC)** al reducir el gasto energético a una determinada velocidad de carrera (VO_2 sub-maximal). Así pues, observaron que, en atletas moderadamente entrenados, 9 semanas de entrenamiento de pliometría a 30' por sesión durante 3 días a la semana contribuyeron a mejorar su economía de carrera en un 8,1%. No obstante, la mejora en la EC fue significativa solo en velocidades relativamente altas (18km/h) mientras que a intensidades menores no fue significativa (14 y 16 km/h).

Cavagna, Komarek & Mazzoleni (1971) investigaron la cantidad de energía generada durante el sprint desde el inicio hasta la carrera a máxima velocidad (9,4 M/S). Se encontró que la potencia de salida aumentó hasta un promedio de 5 m/s a través de propiedades intrínsecas de contracción muscular. Sin embargo, los aumentos restantes en la potencia de salida necesaria para obtener la velocidad máxima fueron atribuidos al almacenamiento y posterior liberación de energía elástica en la musculatura relevante de las piernas, del componente elástico de la musculatura, haciendo así referencia a la importancia del rol del componente elástico en actividades con demandas de fuerza y potencia.

Otro factor de rendimiento en las modalidades de carrera es la **fuerza**.

Blagrove, Howatson & Hayes (2018) mostraron en una revisión sistemática los siguientes efectos del entrenamiento de fuerza en atletas de media y larga distancia:

- La suplementación del entrenamiento de resistencia con el entrenamiento de fuerza (ST) para un atleta de media o larga distancia es probable que produzca mejoras en la Economía de Carrera (RE), en el rendimiento contrarreloj (TT), y en parámetros anaeróbicos como la velocidad máxima de sprint. Además, se obtienen estos beneficios sin existir cambios que perjudiquen los parámetros de VO_2 máx., marcadores de lactato en sangre (BL), y los parámetros de composición corporal sugieren que los mecanismos subyacentes se relacionan predominantemente con alteraciones en la coordinación intramuscular y aumentos en rigidez del tendón que contribuye a optimizar las propiedades fuerza-longitud-velocidad del músculo.
- Es claro que la inclusión de ST no afecta negativamente Marcadores VO_2 máx. o Lactato en sangre.
- La adición de dos a tres sesiones de entrenamiento de fuerza supervisadas por semana es probable que proporcione un estímulo suficiente para aumentar los parámetros dentro de un período de 6 a de 14 semanas, y es probable que los beneficios sean mayores para intervenciones de mayor duración.

Otros factores que determinan el rendimiento en la modalidad de carreras son **la velocidad máxima, y variables relacionadas con el fitness cardiorrespiratorio y con el rendimiento metabólico** como son el VO_2 máx., la capacidad anaeróbica de trabajo, la capacidad anaeróbica láctica, la capacidad aeróbica, ligada a la densidad y funcionalidad mitocondrial, la economía de carrera y la ubicación de los umbrales de lactato entre otros (Joyner & Coyle, 2008).

Así pues, el objetivo de esta revisión es el reunir evidencia científica sobre el trabajo en el medio acuático de estos determinantes del rendimiento o el trabajo para tratar las lesiones con mayor prevalencia en el atletismo, haciendo uso de sus bondades para poder beneficiarse de estas y obtener mejoras en el rendimiento, la prevención o la rehabilitación de lesiones en el contexto del atletismo.

De este modo, se pretende ofrecer una serie de recomendaciones en base a esta evidencia, buscando optimizar el rendimiento en pruebas de carrera reduciendo el riesgo de lesión.

Método

Búsqueda documental

Para la recopilación de información se analizaron 9 artículos de investigación publicados en revistas científicas relacionadas con la temática a tratar (Figura 1).

Procedimiento

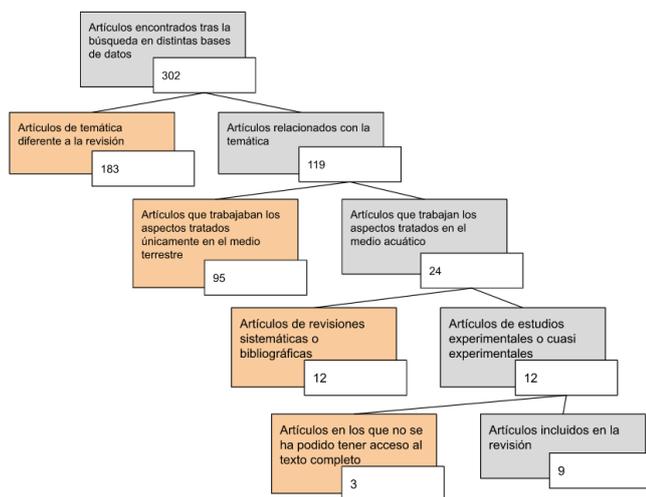
Para esta revisión se realizó una búsqueda bibliográfica llevada a cabo en la base de datos de la Universidad Miguel Hernández: Embase. Además, se ha realizado una búsqueda también en las bases de datos Dialnet y PubMed. Para ello se han utilizado las siguientes palabras clave: "athletics", "water", "training", "water training", "water immersion", "swimming pool", "running", "sprinters", "plyometric", "long distance", "speed", "muscle injury", "treatment", "prevalence", "rehabilitation", "aquatic environment", "vertical jump", "correlation".

En cuanto a los criterios de inclusión de los artículos hemos hecho uso de todo tipo de artículos, experimentales, cuasi experimentales, y revisiones sistemáticas y bibliográficas para establecer los fundamentos y definiciones de la presente revisión. No obstante, para el estudio del efecto del entrenamiento en el medio acuático en el rendimiento y en la prevención o la rehabilitación en el atletismo, solo hemos incluido estudios que fuesen experimentales, en los que se contrasta los resultados obtenidos en un grupo o varios grupos de intervención frente a un grupo control, o cuasi experimentales, en los que se somete a un mismo grupo a dos realidades distintas y se evalúan las diferencias manifestadas en cada una de ellas. Además, solo se han incluido artículos publicados a partir del 1990 hasta la actualidad.

Debido a la poca evidencia que compare el efecto del entrenamiento en el medio acuático y en el medio terrestre en atletas, se han establecido los siguientes criterios de inclusión en cuanto a temática:

- Comparación de determinados entrenamientos (carrera y pliometría) realizados en el medio acuático y en el medio terrestre.
- Comparación del efecto del entrenamiento en el medio acuático frente al entrenamiento en el medio terrestre en variables de la carrera como fuerzas de reacción del suelo, actividad muscular, respuesta metabólica, cardiovasculares y percepción de esfuerzo.
- Comparación del impacto mecánico y fisiológico ente la carrera subacuática y la carrera en el medio terrestre.
- A pesar de que se primaron los estudios que involucraron específicamente a corredores, no se descartaron estudios que incluyesen otros deportistas que no fuesen atletas debido a la poca evidencia presente en dicha temática.

Figura 1. Diagrama de flujo con información sobre el proceso de selección de la bibliografía para el presente trabajo.



Resultados

Debido a que esta revisión abarca el papel del medio acuático como herramienta de entrenamiento en distintos aspectos relacionados con el atletismo, como son el efecto del uso de este medio en la prevención y la rehabilitación de lesiones, o bien el desarrollo de aquellas cualidades determinantes del rendimiento en las pruebas de carrera (velocidad, media y larga distancia), a continuación, se

presentan los resultados obtenidos de los citados estudios agrupados por temáticas y que posteriormente son mostrados en la Tabla 1.

No obstante, cabe remarcar que existe una estrecha línea que separa el desarrollo de las cualidades físicas determinantes del rendimiento con la prevención o rehabilitación de lesiones, ya que como veremos a continuación, en algunos casos el medio acuático permite obtener simultáneamente ambos objetivos.

Dinámica de carrera y reducción de impactos.

Llevar a cabo la carrera en el medio acuático tiene un impacto en la dinámica de carrera. Así lo demuestran los resultados de De Brito Fontana et al., (2015), Hauptenthal et al., (2010) y Macdermind et al., (2017), los cuales reflejan como al correr en el agua se reduce la cadencia debido a un incremento del tiempo de la fase de vuelo, pero no de la fase de contacto. Junto a esto, se observó una notable reducción de los impactos, independientemente de la velocidad, respecto al medio terrestre. Esto se analizó a través del estudio de las fuerzas de reacción verticales del suelo.

Entrenamiento de la pliometría en el medio acuático.

A raíz de la reducción del impacto que se obtuvo al realizar la carrera en el medio acuático, analizamos un estudio en el que Stemm & Jacobson (2007) comparan el efecto del entrenamiento de pliometría en el medio acuático y en el medio terrestre.

En dicho estudio se obtuvieron mejoras en la capacidad de salto vertical semejantes entre el grupo de pliometría en el medio acuático y el grupo de pliometría terrestre, siendo ambas significativamente mayores a las del grupo control. En ninguno de los grupos de intervención se obtuvieron lesiones.

Actividad muscular en la carrera en el medio acuático.

Silvers, Bressel, Dickin, Killgore & Dolny (2014) compararon la actividad muscular de la musculatura del miembro inferior al realizar carrera en cinta terrestre y carrera en cinta subacuática sumergido hasta la altura de la apófisis xifoides. Observaron que al realizar la carrera en inmersión hasta la apófisis xifoides se obtenían cambios en la activación muscular, la duración de esta y la activación muscular total en la distinta musculatura del miembro inferior. De este modo, los músculos encargados de mantener la postura presentaban menor activación, y menor activación muscular total, mientras que los músculos encargados de movilizar el segmento del muslo y la pierna presentaron generalmente mayor activación, duración de activación y en función del producto de estos últimos, activación muscular total.

Efecto del medio acuático en variables cardiovasculares y metabólicas durante la carrera.

Por último, se investigó como variaba la respuesta cardiovascular y metabólica al llevar la carrera al medio acuático. Para ello se analizaron varios artículos que comparaban la carrera en el medio terrestre con la carrera subacuática en suspensión o Deep Water Running (DWR) y la carrera en cinta de correr subacuática (Acuático Treadmill Running (ATM)).

Los principales hallazgos de los estudios analizados muestran que durante el DWR los valores pico obtenidos en FC y VO₂ son significativamente menores. A nivel maximal, el RER, RPE y la ventilación no presentan diferencias significativas. Sin embargo, a esfuerzos submaximales parece ser que se muestra una mayor concentración de lactato y un mayor RER en DWR para un esfuerzo relativo igual.

Por otro lado, los estudios que comparan estas respuestas entre el ATM y la carrera en el medio terrestre encontraron que los valores de frecuencia ventilatoria y ventilación fueron significativamente mayores durante ATM frente a la carrera en cinta terrestre. Sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas entre VO₂, FC, LA, VT, RER, RPE, duración del test, y velocidad final entre los test. Tampoco hubo diferencias entre géneros.

Así pues, en relación a esto, Rife et al., (2010) estudiaron nuevamente esta temática y trataron de proponer una serie de consideraciones a tener en cuenta a la hora de buscar intensidades semejantes a la carrera ordinaria, en el medio acuático.

En su estudio compararon la carrera en cinta terrestre (LTR) con dos tipologías de carrera en cinta subacuática, una descalzo (WTR-NS) y otra llevando zapatillas de correr en agua (WTR-S). Compararon el

efecto de estas 3 condiciones de carrera, a distintas velocidades y entre géneros. Obtuvieron valores de VO₂ menores a una FC determinada en LTR respecto a las dos modalidades de WTR y porcentajes de VO₂max. menores para un determinado %FC en LTR respecto a WTR. Se obtuvieron frecuencias de zancada menores a una determinada velocidad en los dos tipos de WTR. En cuanto a la relación VO₂-velocidad, se obtuvieron consumos de oxígeno significativamente mayores a una misma intensidad cuando se llevaban zapatillas que cuando se realizaba la prueba descalzo.

Por último, en cuanto al género, se vio que a mismas FC el VO₂ relativo al peso era mayor en hombres que en mujeres y a medida que incrementaba FC se incrementaba en mayor medida el VO₂ en los hombres que en las mujeres. El resto de las variables no mostraron diferencias significativas entre géneros.

Tabla 1. Fuerzas de reacción del suelo e impacto en carrera subacuática.

Autor y año	Muestra	Método	Instrumentos evaluación	Resultados
(De Brito Fontana et al., 2015)	32 estudiantes (16 hombres y mujeres). Edad media 25 años. Activos en diferentes deportes.	-Carrera estática a máx velocidad a 3 niveles de inmersión, hasta el pecho (apófisis xifoides), hasta la cadera (cresta ilíaca) y sin inmersión. -Se recopilaron datos antropométricos para determinar el % de grasa corporal. -Calentamiento: Correr de manera estática 5 min a una velocidad submaximal. - A continuación, carrera estacionaria durante 15 seg con máxima cadencia. El primer intento sin inmersión y luego en inmersión hasta pecho o cadera indistintamente.	- Recopilar los datos del componente vertical del GRF (1000Hz) con 2 placas de fuerza (de 400x400x100mm, sensibilidad de 2 N, 300 Hz de frecuencia natural y un error de menos del 1%). - Acondicionador de señal, conversor A/D y un software de análisis (ADS2000-IP and AqDados 7.02, Lynx Tecnología Eletrônica, São Paulo, Brazil). - Software Scilab 4.1.2, para analizar los datos de GRF. -Filtro Butterworth recursivo de 3er orden.	- La cadencia de movimiento y la Fymax disminuye significativamente con el aumento del nivel de inmersión. -A pesar de las diferencias, no existe un efecto significativo de la cadencia en la Fymax.
(Haupenthal et al., 2010)	22 adultos sanos (11 hombres y 11 mujeres) familiarizados con ejercicios acuáticos.	-Se midió los componentes verticales (Fy) y anteroposteriores (Fx) de las fuerzas de reacción del suelo (GRF). Para ello, se colocó en el fondo de la piscina a 30 ± 1 °C una placa de fuerza subacuática. -Se realizó un periodo de adaptación y familiarización. -6 pruebas de carrera subacuática a una velocidad autodeterminada para cada uno de los dos niveles de inmersión (a la altura de la apófisis xifoides y a la altura de la cresta ilíaca). -Se registraron y analizaron 528 curvas de fuerza, con el debido tratado de la señal. Valores normalizados al % del peso corporal.	-Pasarela de 8 metros de largo (cubierta con material antideslizante) con una placa de fuerza subacuática con dimensiones de 400mm x400mm x100mm, sensibilidad de 2 N, error 1% frecuencia de 300Hz. -ADS2000-IP para acondicionamiento de señales y conversión A/D. -Software AqDados 7.02 para análisis y edición de señales. - Software Scilab 4.1.2 para el análisis de las curvas de fuerzas.	-Misma morfología de la curva entre distintos niveles de inmersión, pero ambas distintas de la curva característica de la carrera en el medio terrestre. -Diferencias: → FY: en agua no aparece el pico de frenado vertical (pico de impacto) característico de la carrera en el medio terrestre. →FX: en tierra se identifican 2 picos, uno negativo y el otro positivo. En agua en la mayoría de los sujetos el pico negativo no se observó. Solo se dio el pico positivo al final de la fase de propulsión (70-80% del tiempo de contacto). -No hay diferencias significativas entre los tiempos de contacto ni las tasas de carga al comparar ambos niveles de inmersión. -Los sujetos alcanzaban velocidades mayores con menor nivel de inmersión (cadera). -Diferencia no significativa en los picos (Fy y Fx) entre los dos niveles de inmersión. -La velocidad de carrera solo afectó significativamente a los valores pico de Fx, pero no de Fy.

(Macdermid et al., 2017)	6 corredores de nivel nacional de media y larga distancia. Edad media 29.8. Sin lesiones, con experiencia en las dos cintas.	-Periodo de familiarización de 5 min, velocidades inferiores a 2.78 m/s. Luego, 2 minutos a 2.83 m/s. -Una vez terminado este periodo, se inició la prueba principal donde se corrieron 15 minutos 2.83 m/s, tanto en ATM, como en LTM, teniendo en cuenta una recuperación de 15 minutos. -La profundidad del agua se estableció en la espina iliaca anterosuperior y el agua se encontraba a 21º.	-ATM (O'Leary Engineering, Palmerston North, New Zealand) y LTM (TechnoGym, Cesena, Italy). -Básculas (PCE Instruments, Southampton, Reino Unido). -Acelerómetros triaxiales, en cara anterolateral distal de la tibia derecha, lumbar y en hueso frontal de la cabeza (Emerald; APDM, Portland, OR, USA). -Analizador de gases portátil (K42b; COSMED, Rome, Italy). -Banda de frecuencia cardiaca (Polar Electro, Kempele, Finland). - MATLAB R2014a (Mathworks Inc., Natick, MA, USA) para procesar los datos de acelerometría.	- <u>Acelerometría y disminución de impactos.</u> Se observan aceleraciones reducidas durante el uso del ATM, en la parte distal de la cara anterolateral de la tibia derecha ($p < 0,0001$). En el caso de la zona lumbar ($p = 0,1363$) y la frente ($p = 0,0551$), no se observan diferencias. Se produjeron grandes reducciones en la atenuación de impacto durante el ATM ($p = 0.0001$). - <u>Parámetros espaciotemporales.</u> La frecuencia de zancada fue mayor ($p < 0,0001$) y la longitud de zancada más corta ($p = 0,0341$), resultando en una reducción del tiempo de balanceo para LTM ($p = 0.0201$). - <u>Variables fisiológicas.</u> Correr en ATM aumentó la demanda tanto en FC como de O ₂ .
--------------------------	---	---	---	--

Tabla 2. Entrenamiento pliométrico en el medio acuático.

Autor y año	Muestra	Método	Instrumentos evaluación	Resultados
(Stemm & Jacobson 2007)	21 hombres físicamente activos (recreacional). Edad: 24 ± 2.5 años.	-3 grupos aleatorizados: CG: n = 9; AG: n = 7; LG: n = 8 -Ejercicios pliométricos → SJ, side hops y saltos con rodillas al pecho. - Calentamiento previo. 5 min en bici estática + 5 min estiramientos. - 3x 15 saltos recuperación 1 min. - AG: → Inmersión hasta ± 1 pulgada del eje de la articulación de la rodilla). LG → ejercicios en tierra aterrizando en una colchoneta. CG → No entrena. - Duración → 6w. 2 sessions/w. -Registro de valores pre y post intervención: altura de salto vertical.	-VERTEC vertical jump tester → 3 intentos, y se registra el salto más alto.	-AG y LG muestran mejoras significativas en la altura de salto respecto a CG. -No hay diferencias significativas en las mejoras entre AG y LG. -No hubo lesiones en ningún grupo de intervención.

Tabla 3. Activación muscular durante la carrera en cinta de correr.

Autor y año	Muestra	Método	Instrumentos evaluación	Resultados
(Silvers et al., 2014)	12 corredores recreacionales con al menos un año de entrenamiento aeróbico de carrera de forma continua. Edad: 25.8 ± 5 años.	-Nivel inmersión → apófisis xifoides. -Temperatura del agua $29.5^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$. -Sesión de familiarización. -Ropa que no cubriera más abajo de medio muslo. Descalzos y sin dispositivos de flotación. -Realizaron TM y ATM a velocidades de 174.4, 201.2 y 228.0 m/min. -3 min en TM, 1 minuto en cada intensidad mencionada con orden aleatorio. Descanso 60 min. Repetir el mismo protocolo en ATM. -Información sobre su actividad muscular (EMG): vasto medial del cuádriceps, recto femoral,	-Variables principales, se midió en la musculatura mencionada → Actividad muscular normalizada (%MVC), la duración absoluta de la activación muscular (aDUR) y la activación muscular total (tACT) durante el ciclo de zancada. -Variables secundarias, se midió para asistir la interpretación de los hallazgos en las variables principales → VO ₂ , tasa de zancada, y las duraciones absolutas del ciclo entero de zancada, la fase de apoyo y la fase	Activación muscular (%MVC): - VM → 44.0% menor en ATM - GAS → 26.9% menor en ATM - RF2 (fase balanceo) → 48.7% mayor en ATM. - Velocidad: A mayor velocidad → mayor activación en TA y RF2 Duración de la activación muscular (aDUR): - VM → 213.1% mayor en ATM - RF2 → 128.1% mayor en ATM - BF → 41.3% mayor en ATM - TA → 33.1% mayor en ATM Actividad muscular total (tACT): - VM → 41.9% mayor en ATM - TA → 35.7% mayor en ATM - BF → 29.2% mayor en ATM - GAS → 40.1% menor en ATM - Velocidad: a mayor velocidad →

	gastrocnemio, tibial anterior y bíceps femoral. -Tras el registro, realizaron 3 min de ATM y TM a cada intensidad sin descanso entre repeticiones (9 min en total por entorno) mientras se registró VO ₂ .	de balanceo. -Software de análisis de EMG AcqKnowledge. - TM en Woodway Desmo S, Woodway, Waukesha. - ATM en HydroWorx 2000 (HydroWorx, Middletown, PA), piscina de dimensiones 2,4 m × 3,7 m.	mayor activación total significativa en TA Variables dependientes secundarias: En ATM -Se incrementa el tiempo de fase de balanceo. -Se reduce la tasa de zancada un 33%. -La fase de vuelo y balanceo representa un % mayor del ciclo de zancada. El tiempo de apoyo en valores absolutos es igual en TM que en ATM.
--	--	---	--

Tabla 4. Comparación de las respuestas al ejercicio entre la carrera en cinta de correr y el ‘deep water running’.

Autor y año	Muestra	Método	Instrumentos evaluación	Resultados
(Butts et al., 1991)	12 corredoras de Cross a nivel de competiciones de institutos de una media de 15 años.	-Proceso de familiarización -2 test de VO ₂ máximas con medición de intercambio gaseoso: · <u>Test en cinta de correr.</u> 5 min cal a 5 mph + Escalones de 2' empezando a 6 mph y 2,5% de inclinación (incremento 2.5% inclinación en cada escalón). · <u>Test corriendo en inmersión (DWR)</u> con un Wet Vest. Cal: Simulando la carrera a cadencia de 100 b/min. Cada 2 min se incrementaba 20 b/min. Cuando la cadencia disminuía o sus parámetros fisiológicos se estabilizaban, se les pedía un último minuto all-out. -Temperatura del agua: 29 °C.	-Wet Vest (Bioenergetics, Inc, Pelham, AL) -Analizador de gases “Beckman Metabolic Measurement Cart”. Medido por medio de técnicas de circuito abierto estándar. -ECG para determinar FC. -Escala de Borg.	-A esfuerzo maximal → Valores pico de VE, RPE y RER no presentan diferencias significativas. -Los valores pico de FC y todos los valores de VO ₂ → Significativamente menores en DWR respecto a TR (VO ₂ pico → 17% menor y FC → media de 17.6 lpm menos).
(Michaud, et al., 1995)	8 hombres corredores bien entrenados (>48 km/wk durante >5 años) 6 completaron el estudio.	-3 prácticas de familiarización. - Piscina profunda (3,66m) a una temperatura de entre 29-30°C. - Pruebas <u>máximas</u> : 2 test continuos progresivos para determinar valores máximos de VO ₂ en ambas modalidades TR y DWR, separados entre sí unas 48 h. <u>Pruebas sub-máximas</u> : 3 pruebas submaximales de 15 min en estado estable realizadas en orden aleatorio y separadas entre 48h y 7 días. → TR al 75% del VO ₂ pico de TR (TM 75). → DWR al 75% del VO ₂ pico en DWR teórico, que resultó en DWR al 70% del DWR VO ₂ pico (DW 70-W). → DWR al 75% de VO ₂ pico para TR (DW 75T). Se registró FC cada min, RPE cada 5 min y el intercambio gaseoso. Extracción de lactato 1 min post ejercicio.	-Chaleco WET VEST (Bioenergetics Inc., Birmingham, AL) para la modalidad de Deep-Water Running (DWR) para facilitar la flotación y la estabilización en el medio acuático. -Cinta de correr Marquette 1800. -Monitor de FC (UNIQ Heart Watch, Computer Instrument Corp., Hempstead, NY.). -Escala modificada de Borg 0-10. -Evaluación de gases: Applied electrochemistry SA-3 oxygen analyzer y Applied electrochemistry CD-3A carbon dioxide analyzer para TR. masks blabla para DWR.	-VO ₂ máx. y FC pico significativamente mayores en cinta de correr respecto al DWR. -El consumo de oxígeno en estado estacionario no mostró diferencias significativas entre ambas modalidades a la misma intensidad (al 75% del VO ₂ pico de la carrera en cinta). -La FC pico fue mayor en cinta respecto a DW-70 (13 lpm menos) y DW 75-T (3 lpm menos) pero esta diferencia no fue significativa. -RER no mostró diferencias significativas entre TR y DW 70-W, pero ambos valores fueron significativamente menores a los obtenidos tras DW 75-T. -Tanto para el RER como para la concentración de lactato, estas fueron significativamente diferentes en los tres esfuerzos: DW 75-T > DW 70-W > TM 75.

Tabla 5. Comparación de las respuestas cardiorespiratorias entre la carrera en cinta y la carrera en cinta de correr acuática.

(Silvers et al., 2007)	23 corredores universitarios 11 M, 12 H Edad: entre 19 y 33 años. Al menos 6 meses de constancia en entrenamiento aeróbico.	Enfoque de modelo mixto 2x2. Dos test de carrera maximales incrementales, en LTM y en ATM. -LTM: Escalones de 1 minuto. Velocidad individualizada (media de 170.2 m/min). Cada escalón incrementa 13.4 m/min durante los 4-5 primeros hasta alcanzar la velocidad máxima del test estimada. A partir de ahí se incrementa un 2% la inclinación por escalón hasta la fatiga. -ATM: Escalones de 1 minuto. Velocidad individualizada (media de 162.8 m/min) y resistencia inicial del chorro del 40%. En cada escalón se incrementa de igual manera que en LTM. A partir de ahí se incrementa un 10% la resistencia producida por los chorros hasta la fatiga. -Temperatura del agua 28 °C.	-HydroWorx 2000 (HydroWorx, Middletown, PA). -Propulsores de agua. -Cinta de correr con inclinación regulable Woodway Desmo S, Woodway, Waukesha, WI. -Análisis de gases True One 2400, Parvo Medics, Sandy, UT. Análisis de variables: RER, VT, VE, f. -Bandas de FC resistentes al agua Polar T31, Polar, Lake Success, NY. -Escala de Borg de 15 puntos. -Analizador de lactato de mano Lactate Pro, ARKRAY, Inc., Minami-Mu, Kyoto, Japan; validado frente al método de la enzima LDH.	-Se encontraron diferencias significativas en VE, y F siendo mayores en la cinta ATM. No hubo diferencias entre VO ₂ , FC, LA, VT, RER, RPE, duración del test, y velocidad final entre test. -No hubo diferencias entre géneros.
(Rife et al., 2010)	18 corredores (9 M y H) entrenados en edad universitaria. Edad: entre 18 y 30 años.	Diseño experimental de medidas repetidas → Estudio del efecto de 3 condiciones de carrera (WTR-S, WTR-NS, LTR), 4 intensidades de ejercicio y género. Prueba de rendimiento incremental maximal → Para determinar las intensidades. Prueba de esfuerzo submaximal → 3 pruebas de esfuerzo submaximales, 1 para cada condición de carrera. (48h entre test maximal y tests submaximales). Orden: 1º LTR para confirmar ritmos, seguido de en orden aleatorio WTR-S y WTR-NS. Se destinó un periodo de 2 semanas para terminar todos los tests. Los tests submaximales consistían en: -3 min. cal. a ritmo libre. -Bloques de 5' en orden aleatorio a intensidades de 50%, 60%, 70%, 80% del VO ₂ max obtenido en la prueba de rendimiento. Recuperación entre bloques de 5'. -Se controlaba visualmente la cadencia (zancadas/min). -Se ofrecen zapatillas para correr en agua para WTR-S. -Nivel de inmersión → altura del pecho. -Temperatura del agua → 32.2 °C ± 2 °C.	-Cinta de correr (Modelo TMX425C; Full Vision, Inc., Newton, KS). -HydroWorx, Model 500 -Banda de FC Polar Electro Oy; Hong Kong -Sistema de medición metabólica TrueMax 2400. -AQinc water running shoes.	<u>Condiciones de carrera:</u> -Las intersecciones de la relación HR-VO ₂ fueron significativamente menores en LTR frente a los dos tipos de WTR, los cuales presentaron intersecciones casi idénticas. -Las pendientes de la recta de regresión entre LTR y WTR no son significativamente distintas. -Las intersecciones de la relación %FCmax - VO ₂ max fueron significativamente menores en LTR frente a los dos tipos de WTR, los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Nuevamente, en esta relación no se observaron diferencias entre la pendiente de las 3 rectas de regresión. -SF → a una misma velocidad, significativamente mayor en LTR respecto a los dos tipos de WTR. No diferencia significativa entre las 3 pendientes de las rectas de regresión SF - V. -VO ₂ - V → significativamente mayor en WTR-S que en WTR-NS (4.12 mL/Kg· min más). No diferencias en las pendientes de las rectas de regresión VO ₂ - V. <u>Género:</u> -A mismas FC, el VO ₂ relativo al peso era mayor en hombres que en mujeres. La pendiente de la recta de regresión de FC - VO ₂ era significativamente mayor en hombres que en mujeres. -La relación %FCmax. - %VO ₂ max. no mostró diferencias entre hombres y mujeres ni en intersecciones ni en pendiente. -SF a distintas velocidades → no diferencias entre géneros

*GRF= Fuerzas de reacción del suelo; Fx=Componentes anteroposteriores; Fy=Componentes verticales. ATM=Carrera en cinta subacuática; LTM= Carrera en cinta; DWR= Carrera subacuática en suspensión; CG= grupo control; AG= grupo acuático; LG= grupo terrestre; WTR-S=carrera en cinta subacuática con zapatillas; WTR-NS=carrera en cinta subacuática sin zapatillas; LTR=carrera en cinta de

correr terrestre; SF= stride frequency; V=velocidad; VE= Ventilación; VT= volumen corriente; FC= frecuencia cardíaca; VO2= consumo de O₂; f= frecuencia ventilatoria; mph= millas/h; LA= concentración de lactato; RER=cociente respiratorios; RPE= percepción subjetiva de esfuerzo.

Discusión

El objetivo de esta revisión era el estudiar la literatura científica actual que de algún modo traslada el entrenamiento deportivo integrado en el atletismo, en concreto en las disciplinas de carrera, al medio acuático, y ver que efecto producía este cambio de medio.

Para discutir sobre estos aspectos se procede a analizar nuevamente por temáticas, aquellos hallazgos obtenidos en los estudios utilizados para este trabajo.

Dinámica de carrera y reducción de impactos.

En el primer estudio analizado, De Brito Fontana, Ruschel, Haupenthal, Hubert, & Roesler, (2015) observaron como durante ejercicios de carrera estacionaria, a medida que se incrementaba el nivel de inmersión, disminuía más la cadencia máxima y la intensidad de las fuerzas de reacción del suelo en el eje Y, variable utilizada para analizar el impacto que suponía el ejercicio. Además, cabe destacar que, en este tipo de esfuerzo, no se realiza desplazamiento hacia adelante, en contra del agua, por lo que, asimismo, esto evita que se generen fuerzas de arrastre tan elevadas y por consecuencia, se puede obtener velocidades de movimiento más semejantes a las de la carrera en el medio terrestre. Esto puede ser de gran interés cuando se busque realizar entrenamientos de carrera a altas velocidades de movimiento, conservando cierta especificidad a nivel neuromuscular y reduciendo al mismo tiempo notablemente el impacto.

En otro estudio, Haupenthal, Ruschel, Hubert, De Brito Fontana, & Roesler (2010) mostraron como correr en inmersión disminuía las fuerzas verticales en la fase de apoyo, retirando el pico de frenado vertical, el cual está altamente relacionado con las lesiones por impacto. Esto puede derivar por tanto en una menor carga y como consecuencia, que se sufra un menor estrés por sobrecarga. Estos resultados muestran el efecto amortiguador que tiene el agua a la hora de correr en ella y ofrece una posible ventana para recomendar este tipo de actividades en este medio si se pretende reducir la carga de trabajo, reduciendo el impacto y mermando así los efectos negativos que puedan estos generar.

Cabe remarcar que no se encontraron cambios significativos en estas fuerzas verticales y anteroposteriores entre niveles de inmersión. Esto probablemente sea debido a la variabilidad en la velocidad, por lo que estudios que analicen el efecto del nivel de inmersión en estas variables, homogeneizando la velocidad son necesarios.

Sin embargo, en cuanto a las fuerzas anteroposteriores estas no resultaron mucho menores en el medio acuático respecto al medio terrestre. Los autores del presente estudio consideran que la velocidad puede afectar significativamente a dichas fuerzas. Recordemos que, debido a la viscosidad del agua, cuanto más rápido se desplaza un segmento corporal en esta, mayor es la resistencia que esta ejerce.

Así pues, es importante reconocer en cuanto al trabajo en el agua, no solo el comportamiento de las fuerzas verticales, sino también el de las fuerzas anteroposteriores, las cuales también pueden presentar una magnitud considerable que puede derivar en demandas de actividad muscular más elevadas. Esto es de gran importancia, en especial en sujetos con lesiones musculares.

Por último, en cuanto a esta temática, los resultados obtenidos por Macdermid, Fink & Stannard (2017) confirman que la carrera en cinta subacuática reduce significativamente el impacto comparado con el tapiz rodante del medio terrestre. Esto se muestra en este caso por una reducción de las aceleraciones en el miembro inferior (tobillo), asociadas con múltiples lesiones por sobreuso dadas en la carrera. No obstante, este estudio no analizaba estas aceleraciones en articulaciones que pueden ser de gran relevancia como es la rodilla, dada la gran cantidad del peso que esta articulación absorbe en la bipedestación o la locomoción humana y tratándose esta, de la región con más prevalencia de lesión, como muestra el estudio previamente mencionado de Jacobsson, et al., (2012).

Los parámetros espacio temporales para la cinta de correr subacuática resaltan frecuencias de zancada significativamente más bajas, un mayor tiempo de balanceo por zancada como resultado de la resistencia hidrostática y la flotabilidad. El equilibrio entre estos dos factores resulta en una mayor demanda fisiológica que, combinada con la disminución del impacto, sugiere que la carrera en cinta subacuática podría ser un valioso modo de entrenamiento para corredores.

Entrenamiento de la pliometría en el medio acuático.

Dados los resultados, y las similares respuestas al entrenamiento de la pliometría en tierra como en agua con inmersión hasta las rodillas, en la capacidad de salto vertical, a pesar de no haberse medido en el estudio tratado, es muy probable que el agua, debido a su densidad, redujese las fuerzas de aterrizaje, el impacto, pudiendo así servir como medio para reducir un potencial dolor muscular. La reducción de las lesiones relacionadas con el entrenamiento mientras se lleva a cabo el máximo nivel de entrenamiento debe ser prioritario en los deportistas.

Así pues, estudios que analicen el comportamiento de las fuerzas verticales y anteroposteriores durante acciones pliométricas en inmersión a altura de las rodillas pueden ser interesantes, pues si corroboran la hipótesis anterior, demostrarían que el entrenamiento pliométrico en el agua no solo ofrece los mismos beneficios que en el medio terrestre, como muestran Stemm & Jacobson (2007) en su estudio, si no que, además, lo hace a un menor riesgo de lesión y de sobrecarga.

Siendo esto así, y vistos los beneficios del trabajo de pliometría en la ganancia de potencia, velocidad (De Villarreal et al., 2012) y economía de carrera (Saunders et al., 2006), podría ser de gran interés para el atleta realizar este tipo de entrenamientos en un entorno más seguro y que permite obtener beneficios muy semejantes al entorno convencional, como es el agua.

Actividad muscular en la carrera en el medio acuático.

No hay mucha evidencia científica que compare la activación muscular durante carrera subacuática con la carrera en tierra.

La flotabilidad del agua permitía que se incrementara el tiempo de la fase de vuelo.

La resistencia del agua derivaba en que se produjeran unas fuerzas de arrastre que incrementaban exponencialmente con la velocidad de carrera.

La combinación de la flotabilidad y la generación de fuerzas de arrastre incrementaban el tiempo de la fase de balanceo y la duración de la zancada a todas las velocidades durante la ATM.

La musculatura del tren inferior ejerce funciones de soporte vertical, propulsión horizontal e iniciación o mantenimiento del balanceo de la pierna.

Los efectos combinados de la flotabilidad y las fuerzas de arrastre aparentemente exageraban o minimizaban cada función muscular durante la ATM.

Efecto de flotabilidad y fuerzas de arrastre en %MVC, tACT y aDUR:

VM:

%MVC → 44.0% menor en ATM

El VM actúa en excéntrico para controlar la bajada del CDG y luego en concéntrico para facilitar la extensión de rodilla en la fase de propulsión. Por ello se activa mayoritariamente en la fase de apoyo. Estudios previos muestran que una reducción en las fuerzas de reacción del suelo durante la locomoción acuática o terrestre sugieren que se requiere una menor necesidad de que los extensores de la rodilla generen fuerza durante la fase de apoyo del pie cuando el peso corporal es menor. Así pues, la hipo gravidez que ofrece el medio acuático explicaría por qué los músculos anti gravitatorios presentan activaciones menores durante su fase excéntrica de contracción.

tACT → 41.9% mayor en ATM.

Esto puede ser debido al incremento en un 213.1% de la duración de la activación del VM en el agua respecto al TM, particularmente en la fase de balanceo. Esto podría ser consecuencia de la necesidad de una mayor activación del VM para la extensión de la rodilla en la fase media tardía de balanceo debido al incremento de la resistencia por la viscosidad del agua.

RF1 (fase de apoyo)

%MVC, tACT y aDUR → no afectados por el entorno ni la velocidad durante la fase de apoyo. Probablemente esto es debido a que, puesto que la duración absoluta de la fase de apoyo fue la misma, no hubo cambios significativos en aDUR y tACT, y que, a pesar de la función del RF en la extensión de la rodilla y la estabilización vertical, que debería verse mermada en una situación de ingravidez, el efecto combinado de flotabilidad y fuerzas de arrastre se contrarrestaban entre sí obteniéndose así %MVC similares al medio terrestre.

RF2 (fase de balanceo)

aDUR → 128.1% mayor en ATM

Esto es debido a que esta fase de balanceo se extiende en el tiempo debido a la flotabilidad y a la resistencia que ejerce el agua.

%MVC resulta un 48.7% mayor en ATM.

Esto podría ser debido al incremento en la resistencia que ejerce el agua a la hora de flexionar la cadera en el avance de este segmento durante el ciclo de zancada. Así pues, por el mismo principio se explicaría que al incrementar la velocidad, se incrementase %MVC, debido al incremento de la resistencia por viscosidad del agua al incrementar la velocidad de movimiento en ella (Becker, 2009). No obstante, no se puede atribuir todo el incremento de %MVC en mayores velocidades al medio acuático.

TA:

%MVC → no cambios significativos.

Esto sugiere que, en el presente estudio, el tibial anterior no se vio afectado por la flotabilidad. Sin embargo, al incrementar la velocidad sí se vio un incremento en %MVC que podría ser atribuible en parte a la resistencia que ejerce el medio acuático a la hora de realizar la flexión dorsal del pie en el armado de este. No obstante, este incremento no se puede atribuir únicamente al incremento de las

fuerzas de arrastre debido a que no se observó un efecto de interacción entre el medio y la velocidad.

tACT → 35.7% mayor en ATM.

Debido a la semejanza en los valores de %MVC entre entornos, este incremento debería ser atribuible al incremento de un 33.1% en la aDUR del TA durante la fase de balanceo prolongada.

A pesar de que tACT fue significativamente mayor, debido a la falta del estudio de la medición del ROM de la articulación del tobillo, este incremento no se puede atribuir únicamente a ese incremento en la resistencia proporcionado por el medio acuático.

GAS:

%MVC → 26.9% menor en ATM

Probablemente debido a que la hipo gravidez y la flotabilidad reducen la demanda de la acción excéntrica del gastrocnemio durante el soporte vertical durante el contacto del pie y durante la fase de apoyo. aDUR → no fue significativamente diferente entre entornos debido a que el gastrocnemio se activaba principalmente durante la fase de apoyo, la cual presentó duraciones semejantes entre medios.

tACT → 40.1% menor en ATM, debido al descenso en %MVC y el mantenimiento de aDUR.

BF:

%MVC resultó similar entre entornos.

tACT → 29.2% mayor en ATM debido al aumento del 41.3% en aDUR, producto del incremento de la duración de la fase de balanceo.

Así pues, este estudio de Silvers et al., (2007), demuestra que, a pesar de mantener cierta especificidad a nivel neuromuscular, los patrones de activación de la musculatura del tren inferior son diferentes entre la carrera en cinta subacuática y la carrera en cinta terrestre. Esto debería ser considerado a la hora de prescribir entrenamiento de carrera en el medio acuático, especialmente si se realiza con fines de rehabilitación en los que la estructura afectada es el tejido muscular, pues un incremento en la actividad muscular de dicho músculo ya sea por intensidad de la contracción o incremento del tiempo de esta podría repercutir en una exacerbación de los síntomas.

Efecto del medio acuático en variables cardiovasculares y metabólicas durante la carrera.

En este apartado se muestra una comparación de la carrera tradicional frente a la carrera en aguas profundas en suspensión (DWR), mediante un dispositivo de flotación, generalmente un "wet vest", como con la carrera en la cinta subacuática.

En primer lugar, en cuanto a la carrera en aguas profundas en suspensión (**Deep wáter running o DWR**), presentamos estudios en los que se obtuvieron valores de FC y VO₂ significativamente menores y el RER y LA mayores en DWR frente a la carrera en cinta terrestre. Este descenso en la FC puede ser debido a la presión hidrostática del agua (incremento del retorno venoso, de ahí incrementa el Volumen sistólico, y se reduce la FC ante un determinado Q). Michaud et al., (1995) establece el VO₂ pico en DWR entorno al 88% del Vo₂ pico alcanzado en la cinta de correr.

Además, en estos estudios se reportó mayor fatiga local en brazos, hombros, caderas y piernas durante la DWR. Los investigadores observaron que se requería más a la musculatura de la parte superior del cuerpo durante la DWR. La mayor implicación del tren superior y valores de VO₂ pico menores pueden ser un indicativo de que hubo una menor implicación del tren inferior. Quizás, los músculos propulsores participan menos por el hecho de estar en suspensión. Otro factor que puede explicar los valores menores de VO₂ es el efecto que tiene la presión hidrostática sobre la hemodinámica del

organismo, incrementando el VS y reduciendo así la FC, como ya se ha mencionado anteriormente.

Un incremento significativo durante DWR en LA y RER para un determinado VO₂ a intensidades submaximales nuevamente sugieren un diferente reclutamiento muscular, que en DWR podría implicar más a músculos más pequeños, menos entrenados (tren superior y tren inferior) y músculos con mayor porcentaje de fibras tipo 2 (menos entrenados generalmente). Esto podría sugerir un umbral anaeróbico menor en DWR.

A la misma intensidad absoluta en VO₂ la FC era muy parecida. En otros estudios la FC en DWR fue menor, pero la temperatura del agua también lo fue (25 vs 29-30), por lo que la temperatura del agua por encima o por debajo de la temperatura termoneutral (de 30 a 34 °C) puede afectar a la FC incrementando o reduciendo la FC respectivamente. Esto es remarcado por la gran mayoría de los estudios de esta temática presentes en esta revisión, por lo que esto nos sugiere que un control de la temperatura de la piscina es de gran importancia para poder prescribir y monitorizar el entrenamiento llevado a cabo en el medio acuático.

Para una misma FC, la RPE es mayor en DWR que en carrera en cinta terrestre, por lo que tal vez resulte más difícil realizar esfuerzos largos y continuos en DWR. Así pues, es posible que, en este aspecto, el DWR sea de mayor interés para realizar esfuerzos interválicos que continuos.

A pesar de que las respuestas del VO₂ son menores en DWR respecto a la carrera en tierra, correr en el medio acuático presenta numerosas posibilidades en el marco de la rehabilitación y el entrenamiento. DWR es una actividad que permite descargar la totalidad del peso, reduciendo el estrés en las articulaciones mientras se mantiene cierta especificidad neuromuscular.

Es importante saber que, si se pretende prescribir las intensidades del entrenamiento bajo en la FC, se debería ser cuidadoso. No es lo más indicado prescribir intensidades de DWR basándose en la FC de la carrera en medio acuático, pues podría resultar en un estrés cardiovascular mayor al buscado. Se debe entender que la FC durante DWR va a ser menor, y que la temperatura del agua puede estar influyendo en como de baja es esta FC.

En segundo lugar, se compara la carrera en cinta terrestre con la carrera en cinta subacuática.

En el estudio analizado, Silvers et al., (2007) mostraban unos resultados al comparar estas dos modalidades de carrera que sugieren que la carrera en cinta en aguas poco profundas puede permitir obtener respuestas cardiorrespiratorias pico similares comparadas con la carrera en cinta en el medio terrestre durante los test de máximo esfuerzo. Para asemejar la carrera en agua poco profunda con la carrera en el medio terrestre, se hizo uso de unos chorros que permitían incrementar reguladamente la resistencia que ejercía el agua, para mantener al sujeto más pegado al suelo y reducir así su flotabilidad.

Así pues, en dicho estudio se hipotetizó que las fuerzas de arrastre impuestas por la resistencia del fluido ajustable se opondrían a los efectos de flotabilidad cuando los sujetos se sumergían hasta la altura de la apófisis xifoides durante el protocolo del tapiz rodante subacuático, siempre que se logre un equilibrio adecuado entre la flotabilidad y la resistencia a los fluidos (según lo dictado por nivel de inmersión en agua y/o la resistencia a fluidos ajustable a niveles, pues a mayor grado de inmersión, mayor flotabilidad y por tanto se requiere de mayor corriente para contrarrestar esa flotabilidad).

Por último, Rife et al., (2010), contrastó el efecto en estas variables cardiovasculares y metabólicas del medio, comparando la carrera en cinta terrestre y la carrera en cinta subacuática con y sin zapatillas.

Tras analizar los resultados se puede concluir que el uso de la carrera en cinta subacuática es una alternativa para el entrenamiento en cinta de correr terrestre efectiva, y que es particularmente eficaz en atletas lesionados, quienes se pueden beneficiar de una variante de la carrera que les pueda producir un estímulo suficientemente significativo como para mantener o desarrollar la capacidad cardiorrespiratoria de forma específica y reduciendo al mismo tiempo el soporte de peso.

Los resultados de este estudio indicaron que los deportistas pueden seleccionar una velocidad de la cinta subacuática que suponga una FC de aproximadamente 7 lpm menos que su FC en cinta de correr terrestre para obtener un estímulo cardiorrespiratorio equivalente. Es importante que para aplicar esto, el grado de inmersión sea suficientemente elevado (cadera-pecho), pues grados de inmersión menores, no tendrán el mismo efecto, pues el retorno venoso no es suficiente.

Por último, en este estudio se evaluó el impacto que podía tener en estas variables el uso de zapatillas de correr de agua, (modelo: AQinc water running shoe). Los resultados fueron que, a una determinada velocidad, se incrementa significativamente el VO₂, sobre unos 4.12 mL/Kg-min en relación con la carrera en cinta subacuática sin zapatillas.

Así pues, los atletas deberían conocer este impacto y considerar cuándo llevar estas zapatillas, pues resultan ser una herramienta de gran interés ya que permiten incrementar la intensidad cuando exista una limitación en la velocidad de la cinta subacuática con la finalidad de obtener las respuestas deseadas en la FC.

Conclusiones

En suma,

- El entrenamiento en el medio acuático permite reducir el impacto recibido, el cual está estrechamente vinculadas con un mayor riesgo de lesión. Esto permite realizar entrenamientos y ejercicios con una menor carga y es producto del principio biológico de la hipogravidez que ofrece el agua.
- El entrenamiento pliométrico ofrece las mismas mejoras en el medio acuático como en el medio terrestre, por lo que el medio acuático supone una potencial herramienta para optimizar el rendimiento en esta variable al mantener los beneficios y posiblemente reducir el riesgo de lesión por sobrecarga.
- La actividad muscular es diferente en la carrera en cinta subacuática, frente a la carrera en cinta terrestre. Estos cambios se caracterizan por una menor activación de los músculos anti gravitatorios y una mayor activación y duración de esta de los músculos que ejercen momentos de fuerza en contra de la resistencia del agua. Esto es explicado también por un cambio en el ciclo de zancada caracterizado por un incremento en la fase de vuelo y de balanceo y un mantenimiento de la fase de apoyo.
- En cuanto al impacto metabólico y cardiovascular, se ha visto que el entrenamiento en DWR genera picos de FC y VO₂ menores, probablemente debido al efecto de la presión hidrostática y la disminución de la actividad de los músculos propulsores de las piernas. Sin embargo, existe un incremento en el RER como del lactato, probablemente por el incremento de la actividad de los brazos. Por otro lado, al comparar la ATM con la carrera en cinta terrestre se puede obtener una mayor especificidad

neuromuscular por el incremento de la similitud de los gestos. En esta modalidad, para asemejar todavía más la ATM a la carrera en el medio terrestre, se puede hacer uso de corrientes que incrementen la resistencia del agua. Uno de los estudios presentes aconseja que, para la monitorización y prescripción de la intensidad en ATM, la FC se debe ajustar entorno a unos 7 lpm menos a la FC terrestre deseada para obtener el mismo impacto. El uso de zapatillas incrementa considerablemente el VO₂ a una determinada V. Esto puede ser de gran interés cuando la velocidad está limitada en una cinta de correr subacuática.

- Por último, más estudios específicos en corredores sobre los efectos del entrenamiento en de la carrera en el medio acuático son necesarios, tratando de controlar el máximo número de variables posibles, como la velocidad, para conocer el efecto de esta en dicho medio.

Contribución e implicaciones prácticas

El presente trabajo pretende responder a la pregunta de si el entrenamiento del atletismo se puede llevar al medio acuático para obtener beneficios de este. Así pues, se pretende ofrecer unas consideraciones básicas que sirvan como guía para que los atletas dedicados a las carreras de velocidad, media y larga distancia puedan realizar parte de su entrenamiento en el medio acuático con la finalidad de prevenir lesiones por medio de la reducción de la carga que ofrece este medio, o bien con la finalidad de mantener o incluso desarrollar algunas cualidades físicas cuando una estructura está dañada. Por ello se detallan los efectos de diferentes tipos de ejercicios relacionados con el entrenamiento del atleta en el medio acuático, exponiendo los beneficios e inconvenientes según diferentes contextos.

Un ejemplo de medida preventiva podría ser el realizar ciertos entrenamientos de un microciclo recuperación en el medio acuático, tratando de reducir el estrés por sobreuso y la fatiga, manteniendo los niveles de adaptación logrados en los microciclos de carga previos.

Este mismo principio se puede transportar al ámbito de la rehabilitación y la readaptación, pues conociendo detalladamente la tipología de la lesión, se podría hacer uso del medio acuático para minimizar esos agentes estresores y seguir trabajando aquellas cualidades necesarias para el mantenimiento de la condición física. Un claro ejemplo sería el trabajo de DWR en un sujeto con una fractura de estrés, el cual se va a ver muy beneficiado de la reducción del impacto, y va a poder mantener altos niveles de estrés metabólico y cardiovascular junto con cierta especificidad neuromuscular.

Agradecimientos

Damos las gracias a los profesores Juan Antonio Moreno, Ricardo Zazo y Manuel Peláez, docentes en la asignatura de "Actividades Acuáticas y Salud", en la Universidad Miguel Hernández de Elche, por su gran dedicación y atención a resolver nuestras inquietudes e intereses, además de su gran comprensión y apoyo a lo largo del desarrollo de la asignatura.

Referencias

Alves, D. L., Castro, P. H. C., Freitas, J. V., De-Oliveira, F. R., Lima, J. R. P., & Cruz, R. (2021). What variables determine sprint performance in young athletes? *Science & Sports*, 36(3), e87–e94. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2020.04.008>

Becker, B. M. (2009). Aquatic therapy: scientific foundations and clinical rehabilitation applications. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 1(9), 859–872. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.05.017>

Blagrove, R. C., Howatson, G., & Hayes, P. R. (2018). Effects of strength training on the physiological determinants of middle- and long-distance running performance: A systematic review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(5), 1117–1149. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0835-7>

Butts, N. K., Tucker, M., & Smith, R. (1991). Maximal responses to treadmill and deep water running in high school female cross country runners. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62(2), 236–239. <https://doi.org/10.1080/02701367.1991.10608716E>

Cavagna, G. A., Komarek, L., & Mazzoleni, S. (1971). The mechanics of sprint running. *The Journal of Physiology*, 217(3), 709–721. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1971.sp009595>

De Brito Fontana, H., Ruschel, C., Haupenthal, A., Hubert, M., & Roesler, H. (2015). Ground reaction force and Cadence during stationary running sprint in water and on land. *International Journal of Sports Medicine*, 36(6), 490–493. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398576>

De Villarreal, E. S., Requena, B., & Cronin, J. B. (2012). The effects of plyometric training on sprint performance: a meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 575–584. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318220fd03>

Haupenthal, A., Ruschel, C., Hubert, M., De Brito Fontana, H., & Roesler, H. (2010). Loading forces in shallow water running in two levels of immersion. *Journal of Rehabilitation Medicine: Official Journal of the UEMS European Board of Physical and Rehabilitation Medicine*, 42(7), 664–669. <https://doi.org/10.2340/16501977-0587>

Jacobsson, J., Timpka, T., Kowalski, J., Nilsson, S., Ekberg, J., & Renström, P. (2012). Prevalence of musculoskeletal injuries in Swedish elite track and field athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(1), 163–169. <https://doi.org/10.1177/0363546511425467>

Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions: Factors that make champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>

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>

Lambert, C., Reinert, N., Stahl, L., Pfeiffer, T., Wolfarth, B., Lachmann, D., Shafizadeh, S., & Ritzmann, R. (2020). Epidemiology of injuries in track and field athletes: a cross-sectional study of specific injuries based on time loss and reduction in sporting level. *The Physician and Sportsmedicine*, 50(1), 20–29. <https://doi.org/10.1080/00913847.2020.1858701>

Macdermid, P. W., Fink, P. W., & Stannard, S. R. (2017). Shock attenuation, spatio-temporal and physiological parameter comparisons between land treadmill and water treadmill running. *Journal of Sport and Health Science*, 6(4), 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.12.006>

Maćkała, K., & Fostiak, M. (2015). Acute effects of plyometric intervention—performance improvement and related changes in sprinting gait variability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1956–1965. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000853>

Michaud, T. J., Rodriguez-Zayas, J., Andres, F. F., Flynn, M. G., & Lambert, C. P. (1995). Comparative exercise responses of Deep-Water and treadmill running. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9(2), 104–109. <https://doi.org/10.1519/00124278-199505000-00009>

Nagle, E. F., Sanders, M. E., Gibbs, B. B., Franklin, B. A., Nagle, J. A., Prins, P. J., Johnson, C. D., & Robertson, R. J. (2017). Reliability and accuracy of a standardized Shallow Water running test to determine cardiorespiratory fitness. *Journal*

- of *Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001638>
- Ramírez-Campillo, R., Alvarez, C., Henríquez-Olguín, C., Baez, E. B., Martínez, C., Andrade, D. C., & Izquierdo, M. (2014). Effects of plyometric training on endurance and explosive strength performance in competitive middle- and long-distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 97–104. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f44c>
- Rife, R. K., Myrer, J. W., Vehrs, P., Feland, J. B., Hunter, I., & Fellingham, G. W. (2010). Water treadmill parameters needed to obtain land treadmill intensities in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(4), 733–738. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181bdc485>
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J., & Hawley, J. A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 947–954. <https://doi.org/10.1519/R-18235.1>
- Silvers, W. M., Bressel, E., Dickin, D. C., Killgore, G., & Dolny, D. G. (2014). Lower-extremity muscle activity during aquatic and land treadmill running at the same speeds. *Journal of Sport Rehabilitation*, 23(2), 107–122. <https://doi.org/10.1123/jsr.2013-0003>
- Silvers, W. M., Rutledge, E. R., & Dolny, D. G. (2007). Peak cardiorespiratory responses during aquatic and land treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(6), 969–975. <https://doi.org/10.1097/mss.0b013e31803bb4ea>
- Stemm, J. D., & Jacobson, B. H. (2007). Comparison of land- and aquatic-based plyometric training on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 568–571. <https://doi.org/10.1519/R-20025.1>
- Timpka, T., Alonso, J.-C., Jacobsson, J., Junge, A., Branco, P., Clarsen, B., Kowalski, J., Mountjoy, M., Nilsson, S., Pluim, B., Renström, P., Rønsen, O., Steffen, K., & Edouard, P. (2014). Injury and illness definitions and data collection procedures for use in epidemiological studies in Athletics (track and field): consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 483–490. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093241>
- Wilson, J. M., & Flanagan, E. P. (2008). The role of elastic energy in activities with high force and power requirements: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1705–1715. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31817ae4a7>