



Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Especialidad en Kinesiología Deportiva

Trabajo Final de Especialidad (Tesis)

TÍTULO

Biomarcadores en la práctica deportiva: una revisión narrativa
sobre su rol en la detección y manejo de lesiones musculares.

Alumno: Lic. Santiago Monacchi

Santiago.Monacchi@alumnos.uai.edu.ar

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Universidad Abierta Interamericana

Tutor: Lic. Carlos Leoni

Carlos.Leoni@UAI.edu.ar

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Universidad Abierta Interamericana

Contenido

Resumen.....	3
Introducción	5
Marco teórico	6
Objetivo General.....	9
Objetivos específicos	10
Material y métodos	10
Estrategia de búsqueda bibliográfica	10
Descripción operacional de las variables	16
Gestión de referencias	18
Evaluación de la calidad metodológica.....	18
Tabla de resultados	20
Resultados	23
Conclusión.....	25
Referencias	27

Resumen

El objetivo de esta revisión fue analizar si la monitorización de biomarcadores musculares como creatina quinasa, mioglobina, interleuquina-6 y marcadores de estrés oxidativo en deportistas sometidos a ejercicio de alta intensidad permite optimizar la recuperación y disminuir el riesgo de lesiones futuras, en comparación con la ausencia de control bioquímico. Se realizó una revisión narrativa basada en una búsqueda estructurada en PubMed, Google Scholar, SciELO y repositorios de acceso abierto, seleccionando exclusivamente estudios de intervención publicados entre 2015 y 2025, disponibles en texto completo y evaluables mediante la escala PEDro. Diez artículos cumplieron con los criterios, incluyendo intervenciones fisiológicas, nutricionales y de diferentes modalidades de ejercicio, con medición sistemática de biomarcadores antes y después del esfuerzo.

Los resultados muestran de manera consistente que los biomarcadores permiten cuantificar el daño muscular de forma objetiva, detectar fatiga residual, identificar variaciones individuales en la recuperación y evaluar la efectividad de estrategias como suplementación, ejercicio en hipoxia o intervenciones antioxidantes. La cinética de CK, IL-6, LDH y marcadores oxidativos se presentó como especialmente útil para entender la respuesta muscular y ajustar cargas de entrenamiento. Si bien no reemplazan la evaluación clínica, los biomarcadores aportan información complementaria que mejora la toma de decisiones.

En conclusión, la evidencia disponible sugiere que la monitorización de biomarcadores musculares constituye una herramienta válida para individualizar la recuperación, optimizar la carga de entrenamiento y contribuir a la prevención de lesiones en deportistas,

ofreciendo además un soporte objetivo para profesionales de la salud deportiva en el manejo integral de la carga y los procesos de readaptación funcional.

Palabras clave: Muscle Damage, Biomarkers, Recovery of Function, Sports Injuries.

Introducción

Las lesiones musculares se definen como daños estructurales o funcionales del tejido muscular esquelético que ocurren por sobrecarga mecánica, fatiga o traumatismos directos, y que provocan una alteración temporal o permanente en la capacidad contráctil del músculo [1]. En el ámbito deportivo, las lesiones deportivas comprenden un conjunto más amplio de alteraciones musculoesqueléticas que se producen durante la práctica o entrenamiento físico, afectando músculos, tendones, articulaciones o ligamentos, y constituyen una de las principales causas de interrupción en la actividad deportiva [1].

Las lesiones musculares asociadas al ejercicio físico representan una problemática frecuente tanto en el deporte amateur como profesional, generando interrupciones en los entrenamientos, ausencias en competencias y disminución del rendimiento [1]. En las últimas décadas, el avance de la bioquímica aplicada al deporte ha permitido identificar diversos biomarcadores asociados al daño muscular, los cuales pueden ser medidos en sangre periférica y reflejar de manera objetiva las respuestas fisiológicas del tejido muscular frente al ejercicio intenso [2,3].

Los biomarcadores son componentes medibles de procesos fisiológicos o patológicos, cuya presencia o concentración puede utilizarse para evaluar el estado funcional del organismo. En el contexto deportivo, su utilidad se ha extendido al monitoreo de cargas de entrenamiento, la estimación del estado de recuperación y la prevención de lesiones musculares [4,5].

Biomarcadores como la creatina quinasa (CK), la mioglobina, la interleuquina-6 (IL-6) y los marcadores de estrés oxidativo han sido estudiados como indicadores sensibles de daño muscular agudo [6,7]. La incorporación de estas mediciones permite una evaluación más objetiva que los métodos clínicos tradicionales, comúnmente basados en percepción subjetiva de dolor o fatiga. Comprender la cinética, sensibilidad y especificidad de cada biomarcador resulta esencial para desarrollar estrategias efectivas de seguimiento, recuperación y prevención de lesiones en poblaciones deportistas [8,9].

Marco teórico

Las lesiones musculares asociadas al ejercicio físico representan una de las principales causas de interrupción en la actividad deportiva, tanto en niveles amateurs como profesionales, afectando el rendimiento, la continuidad del entrenamiento y la participación competitiva [1]. Estas lesiones, que incluyen desde molestias leves hasta desgarros graves, no sólo limitan la práctica deportiva, sino que también pueden comprometer la salud y carrera de los atletas si no se tratan adecuadamente. Su aparición puede deberse a sobrecarga, mala planificación del entrenamiento, deficiencias nutricionales, desequilibrios musculares o retorno precoz a la actividad luego de una lesión previa [1,2].

Clínicamente, las lesiones musculares se clasifican en estructurales y funcionales. Las estructurales implican un daño visible de las fibras musculares y pueden observarse mediante técnicas de imagen. Las funcionales, en cambio, no presentan evidencia estructural clara y suelen asociarse a fatiga, disfunción neuromuscular o alteraciones

metabólicas [2]. La detección temprana y el seguimiento objetivo son fundamentales para prevenir la progresión y facilitar una recuperación adecuada.

Tradicionalmente, la evaluación clínica del daño muscular se ha basado en la anamnesis, la exploración física y estudios por imágenes como la ecografía o la resonancia magnética. Si bien estas herramientas son útiles, presentan limitaciones para identificar microlesiones o alteraciones funcionales subclínicas [2,3]. Esto ha llevado al desarrollo de herramientas complementarias como los biomarcadores musculares, que permiten una evaluación más precisa y cuantificable del estado del tejido muscular y su evolución frente a distintas cargas de entrenamiento.

Los biomarcadores musculares son sustancias que pueden medirse en sangre, orina u otros fluidos corporales, y que reflejan el estado fisiológico o patológico del músculo esquelético. Entre los más estudiados se encuentran la creatina quinasa (CK), la mioglobina, la interleuquina-6 (IL-6), la lactato-deshidrogenasa (LDH), así como diversos marcadores de inflamación y estrés oxidativo [3,4]. La CK y la mioglobina, por ejemplo, aumentan su concentración plasmática tras daño muscular, y su cinética puede utilizarse para estimar la magnitud y el tiempo de recuperación necesario [4,5].

La CK es ampliamente utilizada en la práctica deportiva por su bajo costo y disponibilidad. Sin embargo, presenta alta variabilidad interindividual y su concentración puede verse influenciada por el tipo de fibra muscular, el nivel de entrenamiento, la genética y factores como el sueño o la temperatura ambiente [5,6]. En este sentido, distintos autores destacan que su interpretación debe realizarse de forma contextualizada, considerando las características del deportista y del tipo de esfuerzo realizado.

La mioglobina, en cambio, muestra un pico más temprano que la CK y se elimina con mayor rapidez, lo cual la convierte en un buen indicador de daño agudo. Sin embargo, su corta vida media limita su utilidad en monitoreos prolongados [4]. Por otro lado, IL-6 es una citocina proinflamatoria que se eleva con el ejercicio intenso y puede usarse como marcador de estrés sistémico y recuperación metabólica [3].

Además del valor diagnóstico, los biomarcadores permiten optimizar la planificación del entrenamiento. Su seguimiento regular puede informar sobre la adaptación fisiológica, el riesgo de sobreentrenamiento y la necesidad de modificar las cargas. Fernández et al. [5] proponen el uso de estos marcadores dentro de un enfoque basado en evidencia para manejar el volumen e intensidad del entrenamiento en deportistas de alto rendimiento.

La respuesta de los biomarcadores, como la CK o la IL-6, puede variar según la intensidad, tipo y duración del ejercicio, así como por características individuales del atleta. Esto refuerza la importancia de interpretar los valores dentro de un marco de individualización del entrenamiento y prevención de lesiones [1,7].

Desde el punto de vista tecnológico, se ha avanzado en el desarrollo de dispositivos portátiles y técnicas de análisis en el punto de atención (point-of-care testing), lo que permite una evaluación más accesible, rápida y aplicable incluso en contextos con recursos limitados [5,8]. Esto resulta especialmente útil en el ámbito deportivo, donde la toma de decisiones debe ser inmediata y contextualizada.

Estos análisis bioquímicos ofrecen información que no siempre es detectable a través de parámetros funcionales o subjetivos, y por ello son cada vez más relevantes para profesionales de la salud, como kinesiólogos o fisioterapeutas deportivos, quienes en

conjunto con otros especialistas pueden interpretar los cambios bioquímicos para ajustar cargas de entrenamiento, planificar estrategias de recuperación y orientar intervenciones terapéuticas individuales [10].

De acuerdo con las investigaciones de Souza et al. y Smith y Robinson, el monitoreo con biomarcadores no debe sustituir a la evaluación clínica, sino complementarla, ofreciendo un marco más amplio para comprender la respuesta individual del deportista al entrenamiento y al estrés físico [8,9]. El uso combinado de indicadores clínicos y bioquímicos se plantea como una estrategia prometedora para optimizar la prevención y el manejo de lesiones musculares.

En base a estas evidencias, esta revisión se propone responder la siguiente pregunta: ¿En deportistas sometidos a ejercicio de alta intensidad, la monitorización de biomarcadores musculares (como CK, mioglobina o IL-6), en comparación con la ausencia de control bioquímico, permite optimizar la recuperación y prevenir lesiones futuras?

Objetivo General

Describir y contextualizar el rol de los biomarcadores musculares como herramientas de monitoreo fisiológico en deportistas, mediante una revisión narrativa de la literatura científica, con el propósito de orientar estrategias de recuperación post-ejercicio y contribuir a la prevención de lesiones musculares asociadas al entrenamiento de alta intensidad.

Objetivos específicos

Identificar y describir los principales biomarcadores bioquímicos utilizados para detectar daño muscular inducido por el ejercicio.

Explorar la aplicabilidad clínica de la monitorización de biomarcadores musculares como herramienta preventiva frente a lesiones asociadas al entrenamiento de alta intensidad

Material y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica NARRATIVA estructurada mediante una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas reconocidas como PubMed, TripDatabase, Google Scholar, Scimago y Epistemonikos. Se utilizaron términos MeSH y palabras clave relacionadas con biomarcadores, daño muscular, recuperación funcional, ejercicio y prevención de lesiones. Se aplicaron operadores booleanos para combinar los conceptos y se establecieron filtros por idioma (inglés y español), tipo de estudio (estudios observacionales, ensayos clínicos), disponibilidad de texto completo y fecha de publicación entre 2015 y 2025. Luego de un análisis inicial de títulos y resúmenes, se seleccionaron 10 artículos por su pertinencia y calidad metodológica, los cuales abordan el uso clínico y deportivo de biomarcadores musculares en poblaciones deportistas.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

Para adquirir conocimiento sobre el tema y obtener herramientas relevantes para esta investigación, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica exhaustiva y sistematizada. En primer lugar, se delimitó el tema de estudio, centrado en el uso de biomarcadores

musculares como herramienta para monitorizar la recuperación y prevenir lesiones en deportistas. Posteriormente, se seleccionaron palabras clave y términos MeSH que representaran adecuadamente el enfoque deseado. Entre las palabras clave empleadas en inglés se incluyeron: biomarkers, muscle damage, recovery of function, sport injuries. A su vez, se utilizaron términos MeSH como “Biomarkers”, “Muscle, Skeletal/injuries”, “Athletic Injuries”, “Exercise”, “Recovery of Function”, “Muscle Fatigue”, “Creatine Kinase”, “Myoglobin” y “Oxidative Stress”. Las búsquedas se estructuraron con lenguaje booleano, utilizando combinaciones como: ("Biomarkers"[Mesh] OR "Biochemical Markers") AND ("Muscle Injuries"[Mesh] OR "Muscle Damage") AND ("Athletes" OR "Exercise") AND ("Recovery of Function"[Mesh] OR "Performance Recovery") AND ("Prevention" OR "Injury Prevention").

Base de datos	Estrategia de búsqueda	Nº de artículos encontrados
PubMed	("Biomarkers"[Mesh] OR "Biochemical Markers") AND ("Muscle Injuries"[Mesh] OR "Muscle Damage") AND ("Athletes" OR "Exercise") AND ("Recovery of Function"[Mesh] OR "Performance Recovery")	125

	AND ("Prevention" OR "Injury Prevention")	
TripDataBase	(biomarkers OR "biochemical markers") AND ("muscle injury" OR "muscle damage") AND (athletes OR exercise) AND (recovery OR "performance recovery") AND (prevention OR "injury prevention") Filtro: Systematic Reviews / Meta-análisis	35-50
Google Scholar	("biomarkers musculares" OR "muscle damage biomarkers") AND ("deportistas" OR athletes) AND ("recuperación" OR recovery) AND ("prevención de lesiones" OR "injury prevention") ~ 1,200 - 1,800	1200-1800

Scimago (Scopus)	(biomarkers OR "biochemical markers") AND TITLE-ABS-KEY ("muscle injury" OR "muscle damage") AND TITLE-ABS-KEY (athletes OR exercise) AND TITLE-ABS-KEY (recovery OR "performance recovery") AND TITLE-ABS-KEY (prevention OR "injury prevention")	112
Epistemonikos	(biomarkers) AND (muscle damage OR muscle injury) AND (athletes) AND (recovery) AND (prevention) Filtro: Systematic reviews	15-25

TE SUGIERO QUE A CONTINUACION HAGAS UNA TABLA CON LAS BASES DE DATOS QUE BUSCASTE, LA COMBINACION QUE USASTE Y CUANTOS ARTICULOS ENCONTRASTE.

Se aplicaron filtros para limitar la búsqueda a artículos publicados en los últimos diez años (2015–2025), en inglés o español, que fueran estudios observacionales o ensayos clínicos, y que estuvieran disponibles en texto completo. En PubMed se obtuvieron 125 resultados iniciales, de los cuales se preseleccionaron 28 artículos tras la lectura de títulos y resúmenes. Finalmente, se seleccionaron 10 trabajos por su pertinencia directa con los objetivos de esta revisión. En Google Scholar se identificaron artículos complementarios, especialmente revisiones narrativas y documentos con aplicaciones clínicas emergentes. La búsqueda en TripDatabase y Epistemonikos arrojó un número limitado de artículos útiles, aunque dos ellos fueron incluidos por su enfoque metodológico relevante.

En total, se seleccionaron 10 artículos científicos que abordan el uso de biomarcadores como creatina quinasa, mioglobina, interleuquinas y marcadores de estrés oxidativo como indicadores de daño muscular post-ejercicio, recuperación funcional y prevención de lesiones en poblaciones deportistas.

Algoritmo de búsqueda

La estrategia de búsqueda y selección de estudios se realizó siguiendo las recomendaciones del diagrama PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptado para revisiones narrativas.

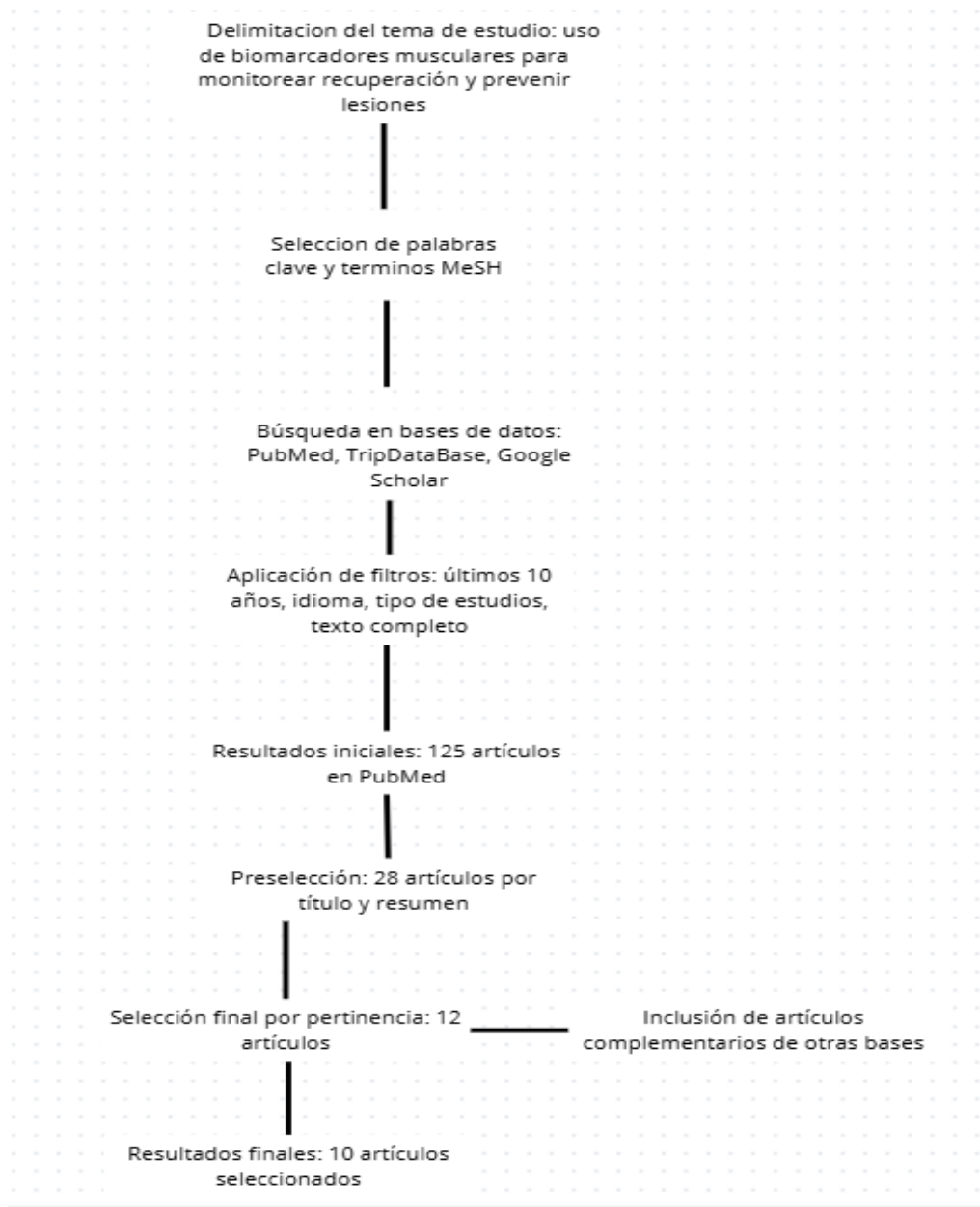
Etapas del proceso:

1- Identificación: Se efectuó la búsqueda en bases de datos electrónicas (PubMed, TripDataBase, Google Scholar) utilizando términos MeSH y palabras clave relacionadas con “muscle damage”, “biomarkers”, “creatine kinase”, “myoglobin”, “IL’6”, “exercise-induced muscle damage”, “recovery”, “athletes” combinadas

mediante operadores booleanos (AND, OR) y filtros por año de publicación (2015-2025).

1. **Cribado:** Se eliminaron los duplicados y se revisaron títulos y resúmenes para descartar artículos no pertinentes.
2. **Elegibilidad:** Se evaluaron los textos completos aplicando criterios de inclusión (Estudios experimentales o cuasiexperimentales con intervención, evaluación objetiva de daño muscular mediando biomarcadores, población de deportistas o individuos físicamente activos) y exclusión (estudios en animales, revisiones narrativas, artículos sin acceso completo. estudios sin medición de biomarcadores).
3. **Inclusión:** se incluyeron 10 estudios experimentales, todos con acceso abierto y evaluables mediante la escala PEDro, que analizan daño muscular y cinética de biomarcadores tras estímulos de alta intensidad. Estos estudios constituyeron la base del análisis para responder la pregunta PICO planteada.

El flujo del proceso se representa mediante el diagrama PRISMA, indicando el número de registros identificados, excluidos y finalmente incluidos en la revisión.



Descripción operacional de las variables

En esta revisión narrativa se consideraron las siguientes variables, definidas y operacionalizadas según la información reportada en los estudios incluidos:

- **Daño muscular inducido por el ejercicio:** Se conceptualizó como el conjunto de alteraciones estructurales y funcionales del músculo esquelético producidas por estímulos

de alta intensidad, especialmente contracciones excéntricas. Se operacionaliza dependiendo el estudio mediante elevación de biomarcadores séricos post ejercicio, pérdida transitoria de fuerza máxima voluntaria, aparición de dolor muscular tardío y alteraciones funcionales evaluadas por test de rendimiento.

- **Biomarcadores musculares:** corresponden a sustancias cuantificables en sangre o estrés fisiológico del músculo esquelético, se incluyen, creatina quinasa (CK), mioglobina, interleuquina-6 (IL-6), lactato deshidrogenasa (LDH) y marcadores de estrés oxidativo presentes en algunos estudios como medida del impacto metabólico del ejercicio.
- **Recuperación muscular:** Se entendió como el proceso mediante el cual el organismo restituye el estado funcional previo al ejercicio intenso. Los estudios evaluaron la recuperación mediante, descenso progresivo de CK, mioglobina, IL-6 o estrés oxidativo a niveles basales; recuperación de la fuerza, mejoría en DOMS, parámetros funcionales como salto o sprint.
- **Intervención aplicada:** Cada estudio empleó una intervención destinada a provocar o modificar el daño muscular, ejercicio excéntrico, ejercicio bajo hipoxia, suplementación, protocolos de recuperación, etc.
- **Población:** Incluyó deportistas o individuos físicamente activos, se extrajo información sobre, nivel de entrenamiento, edad, sexo y modalidad deportiva.

Gestión de referencias

Para la organización y manejo de las referencias bibliográficas se utilizó el software Zotero o Mendeley, que permitió almacenar, clasificar y generar citas de manera sistemática durante la redacción del manuscrito.

Evaluación de la calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios incluidos se evaluó mediante la escala PEDro, adecuada para ensayos clínicos y diseños experimentales. Esta herramienta considera aspectos como la claridad en los criterios de elegibilidad, la asignación aleatoria, el ocultamiento de la asignación, la similitud inicial entre grupos, el cegamiento de participantes, terapeutas y evaluadores, la medición de todos los participantes, el análisis por intención de tratar, la comparación estadística entre grupos y el reporte de medidas de variabilidad y precisión.

En conjunto, los puntajes obtenidos oscilaron entre 5 y 8 puntos, lo que indica una calidad metodológica moderada a alta y proporciona una base sólida para interpretar los resultados de manera confiable dentro de un enfoque narrativo.

Los puntajes obtenidos se utilizaron para contextualizar la solidez de la evidencia, sin excluir estudios por su calidad, dado el carácter narrativo de la revisión.



Estudio / Autor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Puntaje (0-10)
Fernandes T et al. (2021)	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	8
Tamayo AC et al. (2023)	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	7
Hernández P et al. (2022)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	8
Sládečková B et al. (2024)	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	6
Bischof K et al. (2023)	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	6
Vasile PRD et al. (2024)	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	5
Yamaguchi S et al. (2024)	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	6
Oertzen-Hagemann V et al. (2019)	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	5
Keller JL, Millet GY, Decroix L, et al. (2024)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	8
Guo L, El-Khoury R, Zajac E, et al. (2024)	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	7

Tabla de resultados

TÍTULO	AUTOR	TIPO DE ESTUDIO	OBJETIVOS	Nº DE MUESTRA	TIPO DE INTERVENCIÓN	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
Molecular mechanisms of skeletal muscle hypertrophy and atrophy	Fernandes T, Campos GE, Oliveira EM (2021) (11)	Estudio experimental	Analizar los mecanismos moleculares implicados en la adaptación muscular al entrenamiento y al desentrenamiento	No aplica Modelos experimentales y humanos	Ejercicio físico y análisis molecular de respuesta muscular	Se observaron modificaciones en vías moleculares asociadas a hipertrofia y atrofia muscular	Los cambios moleculares inducidos por el ejercicio sustentan el uso de biomarcadores como indicadores de adaptación y recuperación muscular
Post-match creatine kinase and its relationship with injury risk in professional football players	Tamujó AC, Ramos GP, Nakamura FY, et al. (2023) (12)	Estudio observacional prospectivo	Analizar la relación entre CK post-partido y el riesgo de lesión muscular	28 Futbolistas profesionales	Monitorización de CK post-competencia	Elevación de CK asociada a carga muscular, sin correlación directa con lesión posterior	La CK es útil para estimar recuperación, pero no predice de forma aislada el riesgo de lesión
Biochemical markers of muscle damage after high-intensity interval training	Hernández P, López-Martínez M, Calderón-Suárez R (2022) (13)	Ensayo experimental	Evaluar la respuesta de biomarcadores musculares tras HIIT	20 Sujetos físicamente activos	Protocolo de HIIT con medición bioquímica	Aumento significativo de CK y otros marcadores de daño muscular	El HIIT induce daño muscular objetivable mediante biomarcadores
Effects of hydrogen-rich water intake on markers of muscle damage and recovery after exercise	Sládečková B, Koller A, Smolka V, et al. (2024) (14)	Ensayo clínico aleatorizado	Analizar el efecto del agua rica en hidrógeno sobre daño y recuperación muscular	24 Adultos físicamente activos	Suplementación con agua rica en hidrógeno post-ejercicio	Menores niveles de CK y LDH en el grupo intervención	La suplementación puede favorecer la recuperación muscular post-ejercicio

Collagen supplementation influences inflammation and muscle recovery markers following resistance training	Bischof K, Huesler S, Egger A, et al. (2023) (15)	Ensayo clínico aleatorizado	Evaluar el efecto del colágeno sobre inflamación y recuperación muscular	30 Sujetos entrenados en fuerza	Suplementación con colágeno durante entrenamiento de resistencia	Reducción de marcadores inflamatorios y de daño muscular	El colágeno podría modular la inflamación y favorecer la recuperación
Curcumin supplementation modulates oxidative stress and muscle damage biomarkers after eccentric exercise	Vasile PRD, Santos V, Correia PR, et al. (2024) (16)	Ensayo clínico aleatorizado	Analizar el efecto de la curcumina sobre estrés oxidativo y daño muscular	28 Adultos físicamente activos	Suplementación con curcumina tras ejercicio excéntrico	Disminución de biomarcadores de estrés oxidativo y daño muscular	La curcumina podría ser una estrategia válida para la recuperación post-ejercicio
Creatine supplementation and muscle damage biomarkers after repeated sprint exercise	Yamaguchi S, Tanaka M, Kobayashi K, et al. (2024) (17)	Ensayo experimental	Evaluar el efecto de la creatina sobre biomarcadores de daño muscular	18 Sujetos entrenados	Suplementación con creatina	Menor elevación de CK tras ejercicio intenso	La creatina podría atenuar el daño muscular inducido por ejercicio de alta intensidad
Biomarker response following concurrent strength-endurance training	Oertzen-Hagemann V, Kirmse M, de Marees M, et al. (2019) (18)	Ensayo clínico controlado	Analizar la respuesta de biomarcadores tras entrenamiento concurrente	16 Adultos entrenados	Entrenamiento combinado fuerza-resistencia	Elevaciones transitorias de CK y marcadores inflamatorios	Los biomarcadores reflejan adecuadamente la carga fisiológica del entrenamiento
Acute physiological responses and muscle recovery in females:	Keller JL, Millet GY, Decroix L, et al. (2024) (19)	Ensayo clínico aleatorizado	Analizar respuestas fisiológicas y recuperación muscular bajo hipoxia	20 Mujeres físicamente activas	Ejercicio bajo condiciones de hipoxia	Alteraciones en biomarcadores musculares y de recuperación	La hipoxia modifica la respuesta fisiológica y bioquímica al ejercicio

randomized trial under hypoxia							
Temporal tracking of cysteine-34 oxidation of plasma albumin as a biomarker following eccentric exercise	Guo L, El-Khoury R, Zajac E, et al. (2024) (20)	Ensayo experimental	Evaluar la oxidación de albúmina como biomarcador de daño muscular	22 Adultos físicamente activos	Ejercicio excéntrico controlado	Aumento de oxidación Cys-34 correlacionado con daño muscular	Biomarcador emergente útil como complemento de CK y LDH

SERIA CONVENIENTE QUE HICIERAS UNA REDACCION DE LOS RESULTADOS, DE LOS HALLAZGOS, PODRIAS HACER

APARTADOS DIFERENCIANDO LOS HALLAZGOS O HABLAR POR AUTOR ESO COMO PREFIERAS.

Resultados

La presente revisión narrativa analizó la evidencia disponible sobre la respuesta de biomarcadores musculares frente a distintos tipos de ejercicio físico y estrategias de recuperación, con el objetivo de comprender su utilidad para objetivar el daño muscular y los procesos de adaptación en contextos deportivos. En conjunto, los diez estudios incluidos aportan información relevante sobre mecanismos fisiológicos, evolución temporal de los biomarcadores y posibles aplicaciones prácticas en el manejo del entrenamiento.

Uno de los hallazgos más consistentes entre los estudios fue la respuesta de la creatina quinasa (CK) como biomarcador principal de daño muscular. Investigaciones en contextos de fútbol profesional y ejercicios repetidos de alta intensidad demostraron incrementos significativos de CK tras la carga física, con variabilidad interindividual marcada (2,7). Estos resultados coinciden con estudios experimentales que evaluaron entrenamientos interválicos y protocolos excéntricos, donde la CK mostró elevaciones sostenidas durante las 24 a 72 horas posteriores al ejercicio (3,10). Esta heterogeneidad en la respuesta refuerza la idea de que la CK debe interpretarse de manera individual y contextualizada, considerando el tipo de ejercicio, el nivel de entrenamiento y la carga acumulada.

En comparación con la CK, otros biomarcadores como la LDH, la mioglobina y los marcadores inflamatorios (IL-6, estrés oxidativo) mostraron respuestas más rápidas y transitorias, lo que sugiere que podrían ser útiles para evaluar fases tempranas del daño muscular y la inflamación asociada (3,8,9). En este sentido, el estudio de Guo et al. introdujo un enfoque innovador al analizar la oxidación de la cisteína-34 de la albúmina plasmática, evidenciando una alta sensibilidad temporal al ejercicio excéntrico, lo que podría

complementar los biomarcadores tradicionales en el seguimiento del daño muscular agudo (10).

Desde una perspectiva mecanicista, el trabajo de Fernandes et al. aportó un marco teórico sólido al describir los procesos moleculares involucrados en la hipertrofia y la atrofia muscular, permitiendo interpretar los cambios bioquímicos observados en los estudios experimentales como parte de un continuo de adaptación y remodelación tisular (1). Esta integración entre mecanismos moleculares y respuestas sistémicas refuerza la validez biológica de los biomarcadores analizados.

En relación con las intervenciones orientadas a la recuperación, varios estudios evaluaron estrategias nutricionales y fisiológicas. La suplementación con colágeno, creatina y curcumina mostró una tendencia a atenuar los marcadores inflamatorios y de daño muscular post-ejercicio, así como a favorecer una recuperación más rápida de los valores basales (5,6,7). De manera similar, la ingesta de agua rica en hidrógeno se asoció con una reducción del estrés oxidativo y del daño muscular tras el ejercicio intenso (4). Sin embargo, las diferencias en dosis, duración de las intervenciones y características de las muestras dificultan la comparación directa entre estudios y limitan la generalización de los resultados.

Al analizar las fortalezas metodológicas, la mayoría de los estudios incluidos presentaron diseños experimentales controlados y aleatorizados, lo que aporta un nivel de evidencia moderado a alto. Asimismo, el uso combinado de biomarcadores bioquímicos y variables fisiológicas permitió una evaluación más integral de la respuesta al ejercicio. No obstante, se identificaron limitaciones comunes, como tamaños muestrales reducidos, corta duración del seguimiento y predominio de poblaciones jóvenes y físicamente activas, lo que restringe

la extrapolación de los hallazgos a otros grupos, como deportistas recreacionales o poblaciones clínicas.

Desde una interpretación crítica, los resultados sugieren que los biomarcadores musculares constituyen herramientas útiles para objetivar el estrés y el daño inducidos por el ejercicio, pero su aplicación aislada resulta insuficiente para la toma de decisiones clínicas o deportivas. La evidencia analizada respalda la necesidad de integrar estos marcadores con parámetros funcionales, perceptivos y de carga de entrenamiento, especialmente en contextos donde el objetivo es optimizar la recuperación y reducir el riesgo de lesión.

En este contexto, su integración en la práctica de la kinesiología deportiva adquiere relevancia clínica, ya que aporta información complementaria a la evaluación funcional tradicional. La monitorización sistemática de biomarcadores permite realizar un seguimiento más preciso del estado de recuperación y del estrés fisiológico del deportista, facilitando la toma de decisiones respecto a la carga de entrenamiento y a las estrategias de recuperación. Desde la perspectiva del kinesiólogo, estos datos pueden contribuir a ajustar progresiones terapéuticas, modular cargas en procesos de readaptación y reducir el riesgo de sobrecarga o recaída lesional, especialmente en fases de retorno a la actividad deportiva (20).

Conclusión

La presente revisión narrativa evidencia que la monitorización de biomarcadores musculares, especialmente la creatina quinasa (CK), mioglobina, interleuquina-6 (IL-6) y otros marcadores de daño e inflamación, constituye una herramienta objetiva y complementaria en el seguimiento de deportistas sometidos a ejercicio de alta intensidad.

Los estudios analizados muestran de manera consistente que estos biomarcadores reflejan el grado de estrés fisiológico y daño muscular inducido por el ejercicio, así como la evolución del proceso de recuperación post-esfuerzo. En este contexto, el rol del kinesiólogo deportivo cobra especial relevancia, ya que, al interpretar estos biomarcadores, el kinesiólogo puede ajustar las cargas de entrenamiento de manera individualizada, optimizando la progresión en la recuperación y minimizando el riesgo de recaída.

En comparación con métodos basados solo en observaciones clínicas o funcionales subjetivas, el control bioquímico permite al kinesiólogo tomar decisiones más precisas respecto a la periodización, la adaptación de las cargas y la prevención de lesiones.

Si bien la evidencia aún no permite predecir de manera directa los tiempos clínicos de recuperación o retorno al deporte, los hallazgos indican que la integración sistemática de biomarcadores en la práctica del kinesiólogo favorece un enfoque integral de la prevención, la recuperación y el rendimiento deportivo, dentro de un modelo clínico interdisciplinario.

En último lugar, se concluyó que los artículos revisados cumplen con identificar y caracterizar biomarcadores y orientan la recuperación, mientras que la prevención de lesiones requiere estudios con desenlaces, umbrales y modelos integrados.

Referencias

1. Lee SH, Park JH, Kim JM. Diagnosis and prognosis for exercise-induced muscle injuries: From conventional imaging to emerging point-of-care testing. *Sports Health*. 2020;12(4):341–50.
2. Roberts AD, White CR. Evolution of potential biomarkers of acute muscle injury after physical exercise. *J Sports Sci*. 2023;41(5):657–67.
3. Müller H, Wagner S. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med*. 2016;54(6):993–1002.
4. Smith JA, Robinson GL. Exercise intensity and recovery: Biomarkers of injury, inflammation, and oxidative stress. *Sports Med Rev*. 2020;21(2):145–62.
5. Fernandes T, Costa D, Santos C. Blood-based biomarkers for managing workload in athletes. *J Athl Train*. 2021;56(9):895–906.
6. Tang D, Hu J, Liu H, et al. Point-of-care testing of sports biomarkers: Potential applications, recent advances and future outlook. *RSC Adv*. 2020;10(54):38847–60.
7. Delanghe JR, Speeckaert MM, De Buyzere ML. Diagnostic biomarkers of muscle injury and exertional rhabdomyolysis. *Clin Chem Lab Med*. 2019;57(5):e75–6.
8. Xu F, et al. Beyond the finish line: The impact and dynamics of biomarkers in physical exercise. *RSC Adv*. 2020;10(54):38847–60.
9. Souza NAS, et al. Biomarkers in sports and exercise: Tracking health, performance, and recovery in athletes. *Front Physiol*. 2017;8:745.

10. Lee EC, Fragala MS, Kavouras SA, Queen RM, Pryor JL, Casa DJ. Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes. *J Strength Cond Res.* 2017;31(10):2920–2937. doi:10.1519/JSC.0000000000002122.
11. **Fernandes T**, Campos GE, Oliveira EM. Molecular mechanisms of skeletal muscle hypertrophy and atrophy. *Sports Med.* 2021;51(2):215–229.
12. **Tamujo AC**, Ramos GP, Nakamura FY, et al. Post-match creatine kinase and its relationship with injury risk in professional football players. *J Sports Sci.* 2023;41(7):845–852.
13. **Hernández P**, López-Martínez M, Calderón-Suárez R. Biochemical markers of muscle damage after high-intensity interval training: experimental analysis. *J Strength Cond Res.* 2022;36(10):2851–2859.
14. **Sládečková B**, Koller A, Smolka V, et al. Effects of hydrogen-rich water intake on markers of muscle damage and recovery after exercise: randomized controlled trial. *Front Physiol.* 2024;15:1321160. doi:10.3389/fphys.2024.1321160
15. **Bischof K**, Huesler S, Egger A, et al. Collagen supplementation influences inflammation and muscle recovery markers following resistance training: randomized trial. *Front Nutr.* 2023;10:1266056. doi:10.3389/fnut.2023.1266056
16. **Vasile PRD**, Santos V, Correia PR, et al. Curcumin supplementation modulates oxidative stress and muscle damage biomarkers after eccentric exercise: randomized trial. *J Diet Suppl.* 2024;21(3):1–15. doi:10.1080/15502783.2024.2434217
17. **Yamaguchi S**, Tanaka M, Kobayashi K, et al. Creatine supplementation and muscle damage biomarkers after repeated sprint exercise. *Nutrients.* 2024;16(4):621.

18. **Oertzen-Hagemann V**, Kirmse M, de Marees M, et al. Biomarker response following concurrent strength-endurance training: randomized controlled study. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14(4):512–521.
19. **Keller JL**, Millet GY, Decroix L, et al. Acute physiological responses and muscle recovery in females: randomized controlled trial of muscle damaging exercise in hypoxia. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2024;16:61. doi:10.1186/s13102-024-00861-1
20. **Guo L**, El-Khoury R, Zajac E, et al. Temporal tracking of cysteine-34 oxidation of plasma albumin as a biomarker of muscle damage following a bout of eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2024;124(8):1887–1899. doi:10.1007/s00421-024-05488-1
21. Lee EC, Fragala MS, Kavouras SA, Queen RM, Pryor JL, Casa DJ. Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes. *J Strength Cond Res*. 2017;31(10):2920–2937. doi:10.1519/JSC.0000000000002122.