



Biomarcadores de actividad física y el deporte

Biomarkers of physical activity and sport


Biomarcadores de atividade física e esportiva

 <https://doi.org/10.35954/SM2021.40.2.5.e402>

Verónica Ortiz^a  <https://orcid.org/0000-0003-4931-365X>

Vanessa Nieves^b  <https://orcid.org/0000-0002-9072-1690>

Sabrina Lauhé^c  <https://orcid.org/0000-0002-7848-678X>

Marisa Rivero^d  <https://orcid.org/0000-0003-3876-624X>

(a) Química Farmacéutica. Dirección General de Atención Periférica. Dirección Nacional de Sanidad de las Fuerzas Armadas.

(b) Química Farmacéutica. Laboratorio Hospital Central de las Fuerzas Armadas.

(c) Química Farmacéutica. Laboratorio Farmacéutico. División Abastecimiento Dpto. IV, Dirección Nacional de Sanidad de las Fuerzas Armadas.

(d) Doctora en odontología. Batallón Ingenieros N° 1.

RESUMEN

Los biomarcadores miden la adaptación del organismo al entrenamiento físico mediante la variación de sus concentraciones sanguíneas. Estas modificaciones pueden ser benignas y reversibles o negativas, de ahí la importancia de estudiar sus implicancias.

El lactato es indicador de la intensidad del ejercicio mediante la variación de su concentración sanguínea, aumenta en ejercicios más intensos. En ejercicios de baja intensidad, las concentraciones de lactato y glucosa disminuyen gradualmente, porque utilizan ácidos grasos como fuente de energía predominantemente ante la glucólisis. Altas concentraciones de lactato favorecen la colonización de *Veillonella* a nivel intestinal, mejorando el tiempo de carrera por la conversión metabólica del lactato a propionato y su disposición como fuente de energía directamente, sin efecto de primer pasaje hepático. La troponina es específica para diagnosticar lesión cardíaca. Aumenta asintóticamente luego del entrenamiento intenso, en forma proporcional al tiempo e intensidad del mismo. El aumento post ejercicio es mayor en atletas menos entrenados, en atletas adaptados al ejercicio intermitente de alta intensidad, se eleva significativamente luego del ejercicio intermitente y no después del ejercicio continuó, evidenciando la adaptación del organismo a un tipo específico de ejercicio.

Existen alteraciones bioquímicas típicas post ejercicio, caracterizadas por aumento de creatina quinasa total y sus fracciones. Se produce luego de un ejercicio vigoroso que puede causar sobrecarga muscular, rotura de fibras musculares e inflamación, liberando al torrente sanguíneo éstos marcadores bioquímicos. Diferentes disciplinas deportivas de alta intensidad y rendimiento producen aumento de lactatodeshidrogenasa indicando riesgo de lesión por deterioro de las fibras musculares.

PALABRAS CLAVE: Ácido Láctico; Biomarcadores; Creatina Quinasa; Lactato Deshidrogenasa; Troponina.

Recibido para evaluación: Agosto 2021

Aceptado para publicación: Octubre 2021

Correspondencia: 8 de octubre 3020. C.P.11600. Montevideo, Uruguay. Tel.: (+598) 24876666 int. 1663.

E-mail de contacto: vortizalfonso@gmail.com





ABSTRACT

Biomarkers measure the body's adaptation to physical training through variations in blood concentrations. These modifications can be benign and reversible or negative, hence the importance of studying their implications.

Lactate is an indicator of exercise intensity through the variation of its blood concentration, which increases in more intense exercise. In low intensity exercise, lactate and glucose concentrations gradually decrease, because they use fatty acids as the predominant energy source before glycolysis. High lactate concentrations favor the colonization of *Veillonella* at intestinal level, improving running time by the metabolic conversion of lactate to propionate and its disposition as an energy source directly, without the effect of first hepatic passage.

Troponin is specific for diagnosing cardiac injury. It increases asymptotically after intense training, proportional to the time and intensity of training. The post-exercise increase is greater in less trained athletes, in athletes adapted to high-intensity intermittent exercise, it rises significantly after intermittent exercise and not after continued exercise, evidencing the adaptation of the organism to a specific type of exercise. There are typical post-exercise biochemical alterations, characterized by an increase in total creatine kinase and its fractions. It occurs after strenuous exercise that can cause muscle overload, muscle fiber rupture and inflammation, releasing these biochemical markers into the bloodstream.

Different high-intensity and high-performance sports disciplines produce increased lactate dehydrogenase indicating risk of injury due to deterioration of muscle fibers.

KEY WORDS: Lactic Acid; Biomarkers; Creatin Kinase; Lactate Dehydrogenase; Troponin.

RESUMO

Os biomarcadores medem a adaptação do corpo ao treinamento físico através de mudanças nas concentrações de sangue. Essas mudanças podem ser benignas e reversíveis ou negativas, daí a importância de estudar suas implicações.

O lactato é um indicador da intensidade do exercício através da variação de sua concentração sanguínea, que aumenta em exercícios mais intensos. No exercício de baixa intensidade, as concentrações de lactato e glicose diminuem gradualmente, porque utilizam ácidos graxos como fonte de energia predominante antes da glicólise. Altas concentrações de lactato favorecem a colonização de *Veillonella* a nível intestinal, melhorando o tempo de funcionamento pela conversão metabólica do lactato em propionato e sua disponibilidade como fonte de energia diretamente, sem efeito hepático de primeira passagem.

A troponina é específica para o diagnóstico de lesão cardíaca. Ele aumenta assintomaticamente após um treinamento intenso, proporcional ao tempo e à intensidade do treinamento. O aumento pós-exercício é maior em atletas menos treinados, em atletas adaptados ao exercício intermitente de alta intensidade, ele sobe significativamente após o exercício intermitente e não após o exercício continuado, evidenciando a adaptação do corpo a um tipo específico de exercício.

Existem alterações bioquímicas típicas pós-exercício, caracterizadas por um aumento da creatina-quinase total e suas frações. Ocorre após exercício extenuante que pode causar sobrecarga muscular, ruptura de fibras musculares e inflamação, liberando estes marcadores bioquímicos na corrente sanguínea.

Diferentes disciplinas esportivas de alta intensidade e alto desempenho produzem um aumento da desidrogenase láctica indicando um risco de lesão devido à deterioração das fibras musculares.

PALAVRAS CHAVE: Ácido Láctico; Biomarcadores; Creatina Quinase; Lactato Desidrogenase; Troponina.

INTRODUCCIÓN

La pasión y la dedicación de los deportistas son claves para alcanzar el éxito. El mundo del deporte se ha ido profesionalizando y hoy en día son cada vez más los estudios acerca de los biomarcadores para obtener mejores resultados. Permiten una mejor y más completa comprensión de cómo el cuerpo humano reacciona al ejercicio y se adapta al mismo, a las distintas condiciones de entrenamiento en diferentes ambientes y diferentes estímulos. Los biomarcadores son parámetros biológicos del organismo, medibles y cuantificables, que dentro del ámbito deportivo permiten evaluar el riesgo de daño muscular, daño cardíaco, inflamación, cambios inmunológicos, infección e insuficiencia renal (1).

El ejercicio físico tiene un reconocido rol en la prevención de enfermedades cardiovasculares, presenta una relación inversa dosis dependiente entre actividad física y mortalidad debido a varios mecanismos, entre ellos un remodelado cardíaco favorable. Este remodelado ocurre a través de reacciones moleculares, cambios intersticiales y celulares, que a su vez producen modificaciones estructurales, eléctricas y funcionales en el sistema cardiovascular. Estas modificaciones son benignas y reversibles e incluyen: aumento del diámetro de ambos ventrículos, aumento del grosor parietal del ventrículo izquierdo, y dilatación auricular izquierda con función diastólica normal. Existen atletas que al ser sometidos a altas cargas de entrenamiento, experimentan un remodelado cardíaco que sobrepasa la barrera de lo fisiológico y que ha sido asociado a efectos negativos como hipertrofia ventricular izquierda asociada a fibrosis miocárdica, aumento en la incidencia de fibrilación auricular, aumento de la aterosclerosis coronaria y mayor remodelado ventricular derecho. Este remodelado adverso es un elemento de aparición relativamente tardía, siendo necesario contar con predictores más precoces de respuesta frente al ejercicio (2).

Aquí toma relevancia el estudio de los biomarcadores cardíacos en el deporte.

La concentración de los biomarcadores se mide mayormente en sangre, orina y saliva y el nivel de concentración depende de muchos factores, como el grado de entrenamiento, el grado de fatiga y el tipo de intensidad y la duración del ejercicio, aparte de la edad y del sexo (2).

Entre las principales limitaciones que presentan los biomarcadores bioquímicos se encuentran la falta de valores de referencia para atletas y subgrupos específicos de atletas, y la varianza interindividual. Los valores aislados o determinaciones de los mismos sin una frecuencia establecida proveen una información limitada (3).

En personas que practican deporte regularmente, los valores de los biomarcadores se encuentran alterados respecto a los valores normales de referencia, es necesario establecer para ellos valores de referencia acordes a su nivel de actividad física siempre y cuando sea posible y controlar a cada sujeto regularmente, con el fin de así establecer su propia escala de referencia (4).

En la actualidad, las autoridades sanitarias promueven la realización de ejercicio físico, por ello es muy importante que una persona no entrenada pueda conocer la respuesta fisiológica a dicho ejercicio por parte de su organismo.

Esta revisión se enfoca en los biomarcadores empleados para evaluar: condición física, fatiga crónica, sobre entrenamiento, riesgo cardiovascular y rhabdomiolisis.

Los estudios bibliográficos se realizaron utilizando bases de datos en línea como PubMed, Scopus, Bvsalud, Scielo, Academia.edu, y se recuperaron artículos publicados desde el 2009 a la fecha. El objetivo fue investigar sobre los estudios bioquímicos realizados en las actividades físicas que nos apasionan como deportistas para luego promover una correcta práctica en el ámbito deportivo con argumentos técnicos sólidos referentes a la salud. Se incluyeron artículos en lengua inglesa, portuguesa y española. Tras las



búsquedas iniciales, se identificaron 30 artículos, de los cuales se excluyeron 10 por no aportar datos útiles relacionados con la fisiología del ejercicio y las características clínicas del caso.

BIOMARCADORES ESTUDIADOS

Lactato:

Cuando la fosforilación oxidativa del adenosinodifosfato (ADP) a adenosintrifosfato (ATP) no es suficiente para satisfacer la necesidad energética del miocito, la producción de ATP en la glucólisis pasa de realizarse en condiciones aerobias a condiciones anaeróbicas. Generalmente, las altas concentraciones de lactato en sangre reflejan que la generación de ATP vía aerobia no es suficiente y por lo tanto necesita ser suplementada con la producción de ATP vía anaerobia. Se denomina Umbral de Lactato (LT) al porcentaje de carga de trabajo máximo durante un ejercicio creciente en el que el lactato supera los niveles normales. Los atletas de élite tienen un LT del 70 al 90% mientras que las personas no entrenadas tienen un LT del 50 al 60% (5). La concentración de Lactato en condiciones de reposo es de 0.8-1.5 mmol/L y su concentración aumenta con la intensidad del ejercicio. La fatiga aparece rápidamente por encima de las concentraciones de lactato en sangre de 4.0 mmol/L (2).

En consecuencia, durante muchos años se correlacionó al lactato con la gravedad de la enfermedad o lesión (6).

Durante más de cincuenta años se utilizan las pruebas del umbral de lactato (LT) para medir la intensidad del ejercicio en pacientes cardíacos y atletas entrenados. Los atletas de resistencia son sometidos a pruebas de este tipo para controlar la intensidad del ejercicio individual durante el entrenamiento (7).

Sin embargo, se observa que el lactato además de producirse en condiciones anóxicas, se produce bajo una oxigenación adecuada. Existe una teoría en la que algunos clínicos consideran

la lactatemia como un biomarcador de “tensión” y no de “estrés” (6).

Una disminución gradual de la concentración de lactato y glucosa en sangre durante el ejercicio de baja intensidad puede correlacionarse con la capacidad de recuperación en atletas bien entrenados. Esta capacidad de recuperación se torna necesaria para rendir con éxito durante la competición.

El lactato es producido a partir del piruvato, durante el reposo o durante el ejercicio submáximo a través de la lactato deshidrogenasa. El lactato acumulado puede ser transportado a través de la sangre desde el músculo al hígado o riñón. La captación del lactato hepático y la salida del lactato desde el músculo esquelético pueden promover la activación de la gluconeogénesis para luego obtener glucosa disponible para la actividad muscular nuevamente. Sin embargo, la producción de glucosa puede ser insuficiente por la baja concentración de lactato y la gran fuente de energía que proveen los ácidos grasos entre el descanso y el ejercicio de baja intensidad.

Por lo tanto, una oxidación eficaz de los ácidos grasos durante este tipo de ejercicio con un descenso en la concentración de glucosa y lactato pueden mejorar la capacidad de recuperación durante el reposo y la actividad física (7).

En atletas de élite, un estudio del lactato ha demostrado que las altas concentraciones de este proporcionan una ventaja selectiva para la colonización de microorganismos metabolizadores de lactato como *Veillonella*. Estos realizan un proceso enzimático natural que mejora el rendimiento deportivo a través de la conversión de lactato en propionato.

El estudio desarrolla un modelo en el que el lactato sistémico producido durante el ejercicio atraviesa el lumen intestinal y es metabolizado por *Veillonella* en propionato. Este y los subproductos del metabolismo son absorbidos en el colon, evitando el pasaje por el hígado, drenando por la vena cava para llegar a la circulación sistémica,

umentando el rendimiento en forma directa y aguda (8).

Este biomarcador no aumenta con la edad, no difiere entre géneros y parece no depender del estado físico de los individuos monitoreados, pero aumenta con la intensidad del ejercicio en personas sanas y en personas con salud desfavorecida, así como en deportistas entrenados e individuos sin entrenamiento (5).

Troponina

La troponina es una proteína que se encuentra en los músculos del corazón, normalmente no está en la sangre. Cuando el músculo del corazón sufre un daño, libera troponina al torrente sanguíneo. A medida que el daño en el corazón aumenta, se libera más troponina en la sangre. Consta de dos complejos de proteínas troponina cardiaca I (cTnI) y troponina cardiaca T (cTnT) que regulan la función muscular contráctil. Están presentes en el músculo esquelético y cardíaco. Una mayor concentración de isoformas cardíacas (TnI y TnT) indica que ha habido daño al corazón. Por tanto, ambos marcadores son parámetros útiles para evaluar un evento cardíaco. Sin embargo, el aumento tras ejercicio intenso o prolongado en ausencia de síntomas cardíacos, sugiere lesiones musculares, debido a la adaptación al entrenamiento (9).

Este biomarcador es altamente específico de lesión y necrosis cardíaca. Su elevación asintomática es común luego de un entrenamiento intenso, sin embargo, es desconocido el mecanismo y la relevancia clínica de este evento. Ambas isoformas son consideradas de gran eficacia en el diagnóstico de síndromes coronarios agudos (4, 10).

Las adaptaciones físicas al entrenamiento se relacionan con el modo de ejercicio, duración y frecuencia. Esto implica que es deseable un entrenamiento continuo y no intermitente. Al observar a los atletas de resistencia en un metaanálisis, se encontró una mayor elevación

de cTnT después de correr que en bicicleta. Sin embargo, estos resultados fueron basados en extracciones de sangre individuales después del ejercicio que no pueden detectar picos tardíos de cTnT (10).

Otros trabajos han encontrado concentraciones sanguíneas elevadas de troponina, luego del ejercicio de larga duración sin la presencia de síntomas clínicos de infarto agudo de miocardio. Los mecanismos de este aumento no están claros (4, 10).

Un estudio realizado en la maratón de San Pablo ha documentado elevaciones en biomarcadores relacionados con daños cardíacos después de ejercicios prolongados, en individuos aparentemente saludables. Investigaron las alteraciones en los niveles de troponina T cardíaca (cTnT) en atletas amateur después de correr la maratón. De una muestra de 38 atletas del sexo masculino de edad media $40,9 \pm 6,29$ años; altura $172 \pm 6,74$ cm; peso $70,6 \pm 9,47$ kg; IMC $23,46 \pm 2,24$ kg/m² y VO₂ $48,75 \pm 4,62$ ml/kg/min) antes, inmediatamente después y 24 horas después de la Maratón Internacional de São Paulo, SP, Brasil. Se midió la cTnT en sangre, se observó que los valores de concentración aumentaron inmediatamente después de la maratón, a las 24 horas tuvieron una reducción significativa caracterizando un retorno a los valores basales. No se encontró correlación entre la edad y variables referentes a intensidad de la maratón, sin embargo, sí se halló una correlación de los biomarcadores con el tiempo de conclusión de la maratón. No se pudo determinar las causas de la liberación de cTnT sin embargo a partir de los resultados obtenidos, parece no reflejar daño miocárdico. El límite superior de referencia definido en sujetos saludables fue < 0.01 µg/mL para cTnT. Se pudo observar que durante la realización de ejercicios de 5 km, los individuos no entrenados presentan aumentos significativos en la concentración de troponina cardíaca T, en contraste con individuos entrenados. Sin embargo, cuando



comparamos con individuos que hacen ejercicios extenuantes, esa liberación tiene menor magnitud en concordancia con lo comprobado en este trabajo, el tiempo de corrida tiene relación directa con la liberación de troponina, demostrando una mayor demanda del miocardio. Se verificó que cuanto mayor es el tiempo de realización de ejercicio mayor es la diferencia entre los valores pre y post maratón. La realización de la maratón aumentó significativamente los niveles de troponina cardíaca en el 34% de los atletas. Un metaanálisis de 26 estudios demostró que ocurre elevación de troponina en aproximadamente 50% de los participantes de pruebas de endurance. La mayoría de los estudios muestra aumentos significativos de troponina cardíaca en grupos heterogéneos de atletas, luego de completar una maratón o ultramaratón, directamente relacionados a la distancia de corrida (4).

Un estudio publicado en el World Journal of Cardiology que incluyó a nueve jugadores masculinos de Floorball de élite sostiene que el principio de especificidad debe tenerse en cuenta al diseñar estudios futuros para evitar subestimar la elevación de cTn inducida por el ejercicio en los atletas. Dicho principio indica que las adaptaciones fisiológicas frente al entrenamiento físico son específicas con respecto al tipo de entrenamiento realizado. Un mayor efecto de entrenamiento es observado si el entrenamiento y el protocolo de evaluación empleado involucran a los mismos grupos musculares, la misma modalidad de ejecución y la misma velocidad de ejecución. Los participantes fueron previamente evaluados para detectar enfermedades cardiovasculares. Se realizaron dos tipos diferentes de pruebas de esfuerzo estandarizadas, una de cicloergómetro y otra de YoYo IR2, en diferentes ocasiones con un intervalo de 6 meses. Se instruyó a los participantes a evitar toda actividad física 48 h antes de las pruebas. Se recolectaron muestras de sangre venosa antes de las pruebas y 0, 2, 6 y 24 horas después de las pruebas para medir

los niveles de horas-cTnT. Ningún participante presentó anomalías cardiovasculares previas. Las concentraciones de horas-cTnT a tiempo 0, 2, 6 y 24 horas muestran un aumento significativo a las 6 h después del ejercicio. A las 24 horas los niveles han descendido prácticamente a los niveles basales. Tres de nueve participantes presentaron niveles de horas-cTnT por encima del límite a las 6 horas después del ejercicio. Las concentraciones fueron mayores después de la prueba Yo-Yo IR2 en comparación con el cicloergómetro (98% vs 28% a las 2 horas post-ejercicio y 107% vs 27% a las 6 horas post-ejercicio). En atletas profesionales adaptados al ejercicio intermitente de alta intensidad, la horas-cTnT se elevó significativamente después del ejercicio intermitente de alta intensidad pero no después de ejercicio continuo (10, 11, 12).

Creatina Quinasa (CK)

La creatina quinasa (CK) es una enzima utilizada por las células musculares del organismo para funcionar y sus niveles se pueden elevar después de un infarto al miocardio, lesión músculo esquelética, ejercicio extenuante, ingerir suplementos o alcohol, algunos medicamentos, provocando insuficiencia y arritmias cardíacas e insuficiencia renal.

Se encuentra principalmente en corazón (CK MB), cerebro (CK BB), músculo (CK MM). Su determinación en el laboratorio puede ser la CK total o sus fracciones separadas (13).

Muchos estudios en atletas de resistencia señalan alteraciones bioquímicas típicas a las 12 y 24 horas post ejercicio, caracterizado por el aumento de Creatinquinasa total y su fracción (CK MM, CK MB).

Esto se debe a que el ejercicio vigoroso puede causar sobrecarga muscular, teniendo como consecuencia la rotura de fibras musculares e inflamación, liberando al torrente sanguíneo estos marcadores bioquímicos. Su elevación puede ser

por respuesta fisiológica o marcadores de lesión muscular.

Algunos deportistas pueden presentar una elevación de 30 veces el valor normal de CK después de 24 horas de la actividad física y no tener ninguna alteración significativa en el electrocardiograma, examen clínico o desempeño atlético. En otros casos se ha visto un cuadro de rhabdomiolisis en atletas con una elevación de la CK de 15 veces (14).

En Japón se realizó un estudio sobre 9 varones voluntarios sanos no entrenados (24.8 ± 1.3) años, masa corporal (62.3 ± 6.3) Kg y altura (1.72 ± 0.05) m. En el momento del estudio no habían realizado ejercicio o entrenamiento de resistencia durante las dos semanas previas y no estaban tomando ningún suplemento.

Fueron sometidos a ejercicios excéntricos repetitivos fueron 10 series de 40 repeticiones con intervalos de 3 minutos de descanso entre cada serie. Se les realizó extracción de sangre antes del ejercicio y luego de 2, 4, 24, 48, 72 y 96 horas. Del análisis de datos se observa que la CK aumenta significativamente 72 horas después del ejercicio ($p < 0.05$) luego permanece elevado hasta 96 horas luego del ejercicio $p < 0.01$. En esta muestra del estudio el ejercicio fue de intensidad media en personas no entrenadas (15).

Otro estudio realizado en Rio Grande do Sur, Brasil, consistió en analizar determinados biomarcadores en sangre 15 minutos antes de realizar una media maratón de 21 km con el tiempo medio de 70 ± 7 minutos y luego les volvieron a realizar una extracción de sangre 15 minutos después. Donde participaron 20 atletas de sexo masculino con edad de (35.5 ± 10) años, (1.74 ± 6) m de altura, masa corporal (21 ± 1.2) kg/m² y con período de entrenamiento de (13.2 ± 7) años.

Observando los resultados obtenidos solamente de la CK total, CK MM y CK MB de las muestras analizadas antes y después de la media maratón se concluye que hay un aumento significativo de

éstos parámetros ($< 0.05p$ en relación al reposo, por el análisis de t de student en muestras pareadas). Esto sería un aumento de la CK total en un 120%, de la CK-MM en un 180% y en un 85 % para la CK MB. Esta elevación sugiere una micro lesión silenciosa de las fibras musculares. Esto demuestra que, aunque el pico máximo de liberación de éstas enzimas es de 24 a 72 horas después del ejercicio. Ya a los 15 minutos se puede detectar un aumento significativo debido a una adaptación aguda al ejercicio (14).

Se analizó otro estudio realizado en Argentina «Rhabdomiolisis por spinning en 9 pacientes». El spinning o indoor cycling es un tipo de actividad física que consiste en pedalear en una bicicleta fija, donde se trabaja los músculos del muslo, abdominales, brazo, hombros y cuello.

Realizaron un estudio retrospectivo de 9 pacientes (8 mujeres y un varón de edades de 19 a 41 años) que presentaron rhabdomiolisis (síndrome que se presenta por la destrucción del músculo esquelético) después de dicha actividad física.

Todos presentaron elevación de la CK con valores entre 1.650 a 165.000 UI/mL. Los síntomas que motivó la consulta fueron mialgia, astenia, orinas oscuras e impotencia funcional de miembros inferiores. Todos consultaron dentro de las 72 horas luego de haber realizado dicha actividad. Solo uno de ellos presentó insuficiencia renal que no se correlaciona con el valor más alto de CK obtenido.

Se mencionan una serie de factores que inciden en la disminución en la incidencia de rhabdomiolisis, como un entrenamiento apropiado, una buena hidratación, temperatura ambiental adecuada.

Del estudio solamente 3 habían realizado este ejercicio alguna vez. Lo que indicaría que la falta de entrenamiento podría haber tenido incidencia en el desarrollo del síndrome (16).

Todas las acciones musculares (concéntricas, excéntricas, estáticas) son capaces de provocar daño muscular, se ha visto que las acciones excéntricas son las más implicadas en la etiología



del daño muscular esquelético, ya que producen la mayor percepción de dolor muscular. Pueden provocar perforaciones en el sarcolema y daño en los sarcómeros. El ejercicio daña estas estructuras cuando la carga supera los límites a los que está acostumbrado el músculo, causando el aumento de la permeabilidad de la membrana y permitiendo que la CK se filtre al líquido intersticial, donde entra en circulación a través del sistema linfático. Por lo tanto, existe un umbral de intensidad que el ejercicio debe superar para que se produzca un aumento de la CK.

Algunos estudios han clasificado a diferentes individuos como respondedores altos (RA) debido al aumento mucho mayor de la CK después del ejercicio de resistencia en comparación a una respuesta media o normal (RN). Esta clasificación hasta ahora está definida operativamente por experimentos individuales, por ejemplo, en un estudio definieron a los RA como aquellos que mostraban un cambio en la CK \geq después del ejercicio en el percentil 90 de su cohorte. Se plantea que ésta diferencia entre RA y RN se debe, al menos en parte, a la variación genética. Hasta ahora se han identificado varios polimorfismos genéticos. Uno de ellos se refiere a la α actina 3, es una proteína de unión a la actina presente en el músculo esquelético y representa un importante componente estructural de la línea Z del sarcómero. Debido a su ubicación, se postuló que esta proteína puede desempeñar un papel en el mantenimiento de la integridad estructural de los sarcómeros y las células musculares durante las contracciones musculares excéntricas. La síntesis de esta proteína está codificada por el gen ACTN3 (11q13-q14), se ha identificado un polimorfismo en un solo nucleótido que tiene relevancia clínica, llamado polimorfismo ACTN3 R577X, homocigotos del alelo X resulta la ausencia de expresión de ACTN3, sin asociación aparente con fenotipos de enfermedad muscular. Demostraron que estos individuos tendían a tener valores de CK más elevados después del ejercicio

excéntrico en comparación con homocigotos del alelo R.

Otras variables influyen en los valores de la CK post ejercicio, por ejemplo, hay estudios que demuestran que el intervalo de descanso entre series de ejercicios de resistencia se relaciona con diferencias en la CK. Se demostró una elevación significativa de las concentraciones séricas de CK a las 24 horas cuando se descansa 1 minuto frente a 3 minutos entre series.

También se menciona que se encontró que el ejercicio realizado a una velocidad más rápida ($210^{\circ} \cdot s^{-1}$) producen una concentración de CK sérica 4.5 veces mayor que una actividad más lenta ($30^{\circ} \cdot s^{-1}$) realizadas en el mismo tiempo y bajo la misma tensión. Otro factor que consideran es el grupo muscular ejercitado, ejercitar los músculos de la parte superior del cuerpo induce un mayor aumento de CK, todavía no se sabe cuál es la causa. Se propone como una hipótesis que las personas están más expuestas a acciones excéntricas utilizando los músculos de la parte inferior del cuerpo en las actividades diarias (bajar escaleras, sentarse) que los músculos de la parte superior del cuerpo.

También se ha encontrado de forma consistente valores más altos de CK en adultos jóvenes comparado con niños y ancianos después de un ejercicio con la misma intensidad relativa. Una posible explicación es la diferencia del tipo de fibra muscular en las diferentes edades. Los músculos de contracción rápida (tipo II) son más susceptibles al daño muscular inducido por el ejercicio y son más frecuentes en adultos y ancianos (17).

Como se ve la alteración de la CK depende mucho de la intensidad, el tiempo de duración de los mismos, el intervalo de descanso, la edad, características genéticas. Los resultados deben ser siempre interpretados con criterio para evitar conclusiones equivocadas al respecto de una respuesta al esfuerzo físico comparada a una condición patológica

Lactato Deshidrogenasa (LDH)

Es una enzima catalizadora que se encuentra en varios tejidos del cuerpo. Nos concentraremos en la que se encuentra en los músculos. La LDH en los músculos participa del metabolismo anaeróbico. A nivel de las fibras musculares cuando existen lesiones los niveles de LDH se observan aumentadas (9).

La LDH fue estudiada en sangre, en deportistas de Triatlón o Ironman (natación, ciclismo y carrera, que se realizan de manera consecutiva en un tiempo total de 5 hrs). El estudio realizado fue antes y después de la competición en un grupo de atletas jóvenes que practicaban dichas disciplinas deportivas hace 3 años. Se estudiaron también otros factores que incrementarían la LDH, luego de medio ironman, al ser un deporte de larga duración, hay deshidratación y fatiga muscular con el consiguiente daño de fibras musculares y por lo tanto aumento de LDH. El ironman es uno de los deportes que mayor fatiga muscular produce, por la resistencia, intensidad y la forma consecutiva de las disciplinas y en el orden que se realiza: 1,9 km de natación; 90 km de ciclismo y 21,1 km de carrera. Por lo tanto, para establecer daño muscular tras la realización de un ejercicio físico, se consideran entre otros biomarcadores la LDH en plasma, observándose aumentada (18).

En otro estudio se pudo valorar las relaciones entre cargas de entrenamiento y los biomarcadores como la LDH en jugadores de fútbol profesional durante la pretemporada, realizada en jóvenes de entre 24 y 30 años. Se los estudió durante 12 días de entrenamiento de alta intensidad y sin descanso. El síntoma más común de la fatiga es el daño del músculo esquelético, manifestado con el aumento de la LDH, entre los biomarcadores estudiados. El ejercicio físico sin su debido descanso provoca una contracción muscular excéntrica produciendo daño en la estructura muscular, se observa la cantidad y calidad de carga por sobre entrenamiento, siendo un factor

de riesgo básico para los cambios adversos de la fatiga muscular en los jugadores de fútbol (19). En Río De Janeiro se realizó un estudio sobre el desarrollo de un entrenamiento físico militar Cross Operacional, combinando ejercicios aeróbicos, de resistencia, de intensidad de moderada a alta. Este tipo de entrenamiento puede conducir a un deterioro de las fibras musculares, aumentando el riesgo de lesión y respuesta inflamatoria aguda. El objetivo del estudio fue observar el efecto agudo del entrenamiento militar sobre los biomarcadores y se concluyó que existe aumento de la LDH que es una enzima que interviene en el metabolismo muscular. Luego de 24 a 48 horas de reposo disminuye dicho valor (20).

CONCLUSIONES

La actividad física provoca una adaptación en el metabolismo del deportista para satisfacer una demanda energética acelerada, esto en conjunto con un entrenamiento personalizado, revisiones médicas periódicas, un descanso reparador, y una nutrición correcta con una adecuada hidratación, proveen las condiciones necesarias para obtener un buen desempeño deportivo. Para ello es de gran utilidad hacer un seguimiento del proceso de adaptación al entrenamiento ya que los deportistas están sometidos a grandes exigencias físicas. El control médico lleva implícita la medición de biomarcadores sanguíneos para saber el estado de salud del deportista.

Debido a la no existencia de valores de referencia en la actualidad de estos marcadores, no es posible saber si el organismo se encuentra en condiciones de adaptación al ejercicio o sobreentrenamiento. Para ello es necesario el abordaje multiprofesional para evaluar de forma individual aspectos bioquímicos, clínicos y de desempeño. Además, estudios diversos de medición de la concentración de ciertos biomarcadores han llevado al descubrimiento de otras fuentes de energía según la intensidad del ejercicio y la colonización de determinado género



de microorganismo intestinal en atletas de élite que favorecen la performance deportiva.

Gracias al ejercicio físico podemos mantener en armonía el funcionamiento de nuestro cuerpo y la promoción de su salud. Sin embargo el ejercicio intenso, no planificado, sin un seguimiento adecuado, en personas susceptibles puede incrementar el riesgo de problemas cardiovasculares, musculares y renales.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Las autoras no reportan ningún conflicto de interés. El estudio se realizó con recursos propios de las autoras y/o la Institución a la que representan.

REFERENCIAS

- (1) Roca E. Disponible en: <https://www.emmarca.com/cientifica-es>. [Consulta 12/9/2021]. Sitio web. 1 página en pantalla.
- (2) Palacios G, Pedrero-Chamizo R, Palacios N, Maroto-Sánchez B, Aznar S, González-Gross M. Biomarcadores de la actividad física y del deporte. *Nutrición Hospitalaria* 2015; 31(Extra 3):237-244.
- (3) Lee E, Fragala M, Kavouras S, M Queen R, Pryor J, Casa D. 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.
- (4) Sierra A, Ghorayeb N, Dioguardi G, Sierra C, Peduti M. Alteracao de biomarcadores de lesao miocárdica em atletas após a maratona internacional de sao Paulo. *Rev Bras Med Esporte* 2015; 21(3). <https://doi.org/10.1590/1517-86922015210302223>
- (5) Finisterer J. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2012; 13:218. doi: 10.1186/1471-2474-13-218.
- (6) Brooks G. The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory. *Cell Metabolism* 2018; 27(4):757-785. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.03.008>.
- (7) Yang W, Park H, Grau M, Heine O. Decreased Blood Glucose and Lactate: Is a Useful Indicator of Recovery Ability in Athletes? *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17(15):5470. doi: 10.3390/ijerph17155470
- (8) Scheiman J, Luber J, Chavkin T, Mc Donald T, Tung A, Pham L, *et al.* Meta'omic analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nat Med* 2019 Jul; 25(7):1104-1109. doi: 10.1038/s41591-019-0485-4. Epub 2019 Jun 24.
- (9) Palacios G, Pedrero-Chamizo R, Palacios N, Maroto-Sánchez B, Aznar S, González-Gross M; EXERNET Study Group. Biomarkers of physical activity and exercise. *Nutr Hosp*. 2015 Feb 26; 31 Suppl 3:237-44. doi: 10.3305/nh.2015.31.sup3.8771.
- (10) Wedin J, Nyberg N, Henriksson A. Impact of training specificity on exercise-induced cardiac troponin; elevation in professional athletes: A pilot study. *World J Cardiol* 2020; 12(1):35-43. doi: 10.4330/wjc.v12.i1.35.
- (11) Importancia del principio de la especificidad en el ciclista. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd112/principio-de-la-especificidad-en-el-ciclista.htm>. [Consulta 12/9/2021] Sitio web. 1 página en pantalla.
- (12) Saez J. Blog. Disponible en: <https://www.jlmartinsaez.com/articulos/yo-yo-intermittent-recovery-tes>. [Consulta 12/9/21] Sitio web. 1 página en pantalla.
- (13) Zambrano-Montesdeoca A, Rendón-Párraga J, Trujillo-Chávez M, Valero-Cedeño N. Concentración sérica de creatina-quinasa y funcionalismo renal en adultos de centros de entrenamiento físico de Calceta. *Dom. Cien* 2019; 5(1)818-843. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v5i1.1085>.
- (14) De Olivera Siqueira L, Muccini T, Dall Agnol I, Filla L, Tibbola P, Luvison A, *et al.* Análise de parâmetros bioquímicos séricos e urinários em atletas de meia maratona. *Arq Bras Endocrinol Metab*. 2009; 53(7). <https://doi.org/10.1590/S0004-27302009000700008>.

(15) Kanda K, Sugama K, Sakuma K, Kawakami Y, Suzuki K. Evaluation of serum leaking enzymes and investigation into new biomarkers for exercise induced muscle damage. Excentric exercise and muscle damage markers. *Exerc Immunol Rev* 2014; 20:39-54. PMID: 24974720.

(16) Montero J, Lovesio C, Godoy M, Ruiz G. Rabdomiolisis por spinning en nueve pacientes. *MEDICINA (Buenos Aires)* 2009; 69:153-156.

(17) Koch A, Pereira R, Machado M. The creatine Kinase response to resistance exercise. *Musculoskelet Neuronal Interact* 2014; 14(1):68-77.

(18) Gallo-Salazar C, González-Millán C, Garrigós J, Salinero Martín JJ, Abián-Vicén J, Ruiz-Vicente D, *et al.* Influencia de un medio ironman en parámetros sanguíneos. *Arch Med Deporte* 2015; 32(1):10-15.

(19) Radzimiński Ł, Jastrzębski Z, López-Sánchez GF, Szwarc A, Duda H, Stula A, *et al.* Relationships between training loads and selected blood parameters in professional soccer players during a 12-day sport camp. Relationships between Training Loads and Selected Blood Parameters in Professional Soccer Players during a 12-Day Sports Camp.

Int J Environ Res Public Health. 2020 Nov 19; 17(22):8580.

doi: 10.3390/ijerph17228580.

(20) Ferreira PF. Influencia de un método de entrenamiento físico militar sobre marcadores indirectos de dano muscular. Rio de Janeiro; s.n; 2020. 67 p. Tesis en Portugués. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/es/biblio-1177775> [Consulta 17/9/2021].

CONTRIBUCIONES AL MANUSCRITO:

- a) Concepción, diseño, adquisición de datos, redacción, interpretación y discusión de resultados y aprobación de la versión final.
- b) Diseño, análisis de datos, interpretación y discusión de resultados.
- c) Diseño, análisis de datos, interpretación y discusión de resultados.
- d) Diseño, análisis de datos, interpretación y discusión de resultados.