

Revista Española de Nutrición Humana y Dietética

Spanish Journal of Human Nutrition and Dietetics

www.renhyd.org



REVISIÓN

Parámetros bioquímicos básicos, hematológicos y hormonales para el control de la salud y el estado nutricional en los deportistas

Aritz Urdampilleta^{a,b,*}, Raúl López-Grueso^c, José Miguel Martínez-Sanz^d, Juan Mielgo-Ayuso^e

^a Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Álava, España.

^b Unidad de Investigación y Asesoramiento en Nutrición Deportiva y Entrenamiento Aplicado, Centro Deportivo K2, Vitoria-Gasteiz, España.

^c Universidad Miguel Hernández de Elche, Centro de Investigación para el Deporte, Elche, España.

^d Departamento de Enfermería, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Alicante, Alicante, España.

^e Centro Riojano de Nutrición, Haro (La Rioja), España.

* Autor para correspondencia:

Correo electrónico: aritz.urdampilleta@ehu.es (A. Urdampilleta)

Recibido el 11 de marzo de 2012; aceptado el 24 de julio de 2014.

➤ **Parámetros bioquímicos básicos, hematológicos y hormonales para el control de la salud y el estado nutricional en los deportistas**

RESUMEN

Las competiciones deportivas cada vez más tienen una mayor exigencia en cuanto a la intensidad del esfuerzo, precisando controlar minuciosamente todos los aspectos que afectan al rendimiento deportivo. La alimentación, hidratación y suplementación del deportista, antes, durante y después del entrenamiento o la competición, afecta directamente sobre la salud, la composición corporal y, por consiguiente, sobre el rendimiento y la recuperación del deportista. Para un correcto asesoramiento del deportista, es necesaria la valoración del estado nutricional a través de analíticas sanguíneas para controlar el proceso de adaptación al entrenamiento. El objetivo del presente trabajo es ofrecer una herramienta práctica a los dietistas-nutricionistas para el control de la salud y el estado nutricional de los deportistas, así como para monitorizar su adaptación a las cargas de trabajo y periodos de competición. La realización de pruebas analíticas para el control del metabolismo proteico, perfil lipídico, iones (por su relación con el estado de hidratación del individuo), pruebas hematológicas y metabolismo del hierro pueden ser de gran interés, además de revisar algunos parámetros hormonales con el fin de observar la posible existencia de estados de sobreentrenamiento. La comprensión y la correcta interpretación de los análisis de laboratorio serán de máxima importancia para los dietistas-nutricionistas que realicen asesoramiento dietético-nutricional en deportistas, ya que permitirá determinar el estado del deportista y proponer diferentes estrategias individualizadas de alimentación, en función de la fase de entrenamiento en la que se encuentre y la respuesta al mismo.

PALABRAS CLAVE

Estado nutricional;
Estado de salud;
Deportistas;
Valoración nutricional;
Marcadores biológicos.

Basic biochemical, hematological and hormonal parameters for monitoring the health and nutritional status in athletes

KEYWORDS

Nutritional status;
Health status;
Athletes;
Nutrition assessment;
Biological markers.

ABSTRACT

Sporting competitions are becoming more demanding in terms of intensity of effort, and this means controlling all aspects that affect athletic performance. Food, hydration and supplementation, before, during and after training or competition directly affect health, body composition, performance and recovery of the athlete. The assessment of nutritional status is required for proper advising of the athlete, through blood tests to control the process of adaptation to training. The aim of this paper is to provide practical tools for dietitians-nutritionists to control the health and nutritional status of athletes, as well as monitoring their adaptation to workloads and competition periods. Performing analytical tests to control of protein metabolism, lipid profile, ions, blood tests and iron metabolism, in addition to review some hormonal parameters, may be of interest in order to observe the potential existence of overtraining states. The correct understanding and interpretation of laboratory tests (under sports doctor's supervision) will be most important and useful for dietitians-nutritionists, performing dietary and nutritional advice to athletes, because it will determine the status of the athlete and propose different individual feeding strategies depending on the training phase and response.

INTRODUCCIÓN

La realización de una valoración bioquímica es una tarea imprescindible en el asesoramiento de los deportistas, ya que su evaluación, entre otras, da información muy útil sobre posibles desequilibrios nutricionales. Sin embargo, para una correcta evaluación, es necesario conocer las variaciones inter e intra-individuales que pueden existir en cada parámetro¹, sobre todo según la fase de la temporada en la que se encuentre el/la deportista². Es por ello, y porque se alteran multitud de valores bioquímicos³ al llevar a cabo un ejercicio intenso, que la valoración analítica del deportista es compleja. Pero sabiendo que estos valores van a normalizarse pasado el periodo de carga de entrenamiento, en la fase de transición del deportista, resulta interesante que esta valoración se realice al menos en tres tiempos: antes, durante y después de un programa de entrenamiento⁴⁻⁶.

Es necesaria la utilización de parámetros bioquímicos a la hora de realizar una intervención dietético-nutricional, especialmente en aquellos deportes en los que se compite por categorías de peso⁴. Con el fin de conseguir entrar en una determinada categoría de peso, los deportistas se someten en algunas ocasiones a dietas hipocalóricas –a veces, muy bajas en hidratos de carbono– junto a entrenamientos muy intensos, lo que puede comprometer su rendimiento deportivo, así como su salud, incluyendo el sistema inmunológico⁴⁻⁵.

Esta situación se puede encontrar también en otros deportes donde la composición corporal y el peso son aspectos importantes a valorar, bien por razones estéticas (por ejem-

plo: gimnasia rítmica o patinaje), o por considerar el peso como un factor limitante del rendimiento deportivo (por ejemplo: ciclismo de ruta o pruebas de ultra-resistencia)⁶.

Además, las diferentes técnicas analíticas (según el laboratorio que realiza la prueba) ofrecen diferentes rangos de normalidad en sus resultados para la población general, por lo que se recomienda que los análisis se examinen con cautela y se realicen siempre en el mismo laboratorio y bajo el mismo protocolo. La valoración nutricional requiere relativizar los resultados en función de: edad, sexo, antecedentes personales (y familiares), constitución, tipo y grado de acondicionamiento físico⁷; considerando también el periodo de la temporada en que se encuentra, la modalidad deportiva practicada, así como los datos obtenidos en analíticas sanguíneas previas (antecedentes)⁶.

Las pruebas de laboratorio más utilizadas en clínica y en la valoración del deportista se dividen en dos grandes grupos: 1) análisis sanguíneos (bioquímica y hematología) y 2) análisis urinarios. Dentro de la bioquímica se determinan distintos metabolitos, enzimas, proteínas y hormonas⁷.

Así, en un análisis de sangre convencional, se puede saber si el organismo está respondiendo favorablemente tanto al entrenamiento como al plan dietético establecido, quedando patente la importancia del control e interpretación de cada parámetro bioquímico, hematológico u hormonal y su contribución en la valoración integral de la salud del deportista.

El objetivo del presente trabajo es ofrecer una herramienta práctica a los/las dietistas-nutricionistas deportivos para el control de la salud y el estado nutricional de los deportistas.

ANÁLISIS SANGUÍNEOS (BIOQUÍMICA Y HEMATOLOGÍA) ESPECÍFICOS Y SU UTILIDAD PARA EL CONTROL DE LA SALUD Y EL RENDIMIENTO DEL DEPORTISTA

En cuanto a la extracción de sangre, es imprescindible que esta se practique en ayunas, normalmente a primera hora de la mañana, tras un día anterior de reposo. Los días previos se ha de homogeneizar la dieta, para que no altere determinados valores⁷. Por otro lado, para la interpretación de los resultados y su evaluación global es recomendable la participación de un grupo interdisciplinar que se integre de un dietista-nutricionista, un técnico en bioquímica y hematología y, para diagnosticar una posible enfermedad y directrices del tratamiento, un especialista en medicina deportiva.

Para un correcto asesoramiento sobre el estado de salud y rendimiento del deportista, es necesario conocer el significado que puede tener la variación de los diferentes parámetros sanguíneos en la fase aguda⁸ así como en fases crónicas^{9,10}. La correcta interpretación de la analítica sanguínea supone distinguir entre a) los procesos de adaptación normal a la actividad física y b) los valores que pueden significar un mayor riesgo de sufrir procesos patológicos o procesos no adaptativos^{11,12}.

En la Tabla 1 se exponen algunos de los principales parámetros sanguíneos que deben evaluarse para el control de la salud en el deportista, así como el significado fisiológico de su alteración debido a la actividad físico-deportiva.

Evaluación del estado proteico visceral

Como parámetros básicos de control, tanto en personas sedentarias como en deportistas, la prealbúmina, la albúmina sérica, la transferrina o las proteínas totales, constituyen indicadores del estado proteico visceral del deportista. Toda situación que conlleve a valores bajos de proteínas plasmáticas, linfopenia, déficit de inmunidad celular y humoral indica depleción de la reserva proteica visceral y, por lo tanto, una situación grave de malnutrición^{13,14,15}.

La transferrina es una β 1-globulina esencial en el transporte del hierro en el plasma. Normalmente se encuentra saturada al 30% y tiene una vida media de 8-10 días, por lo que se considera mejor indicador de la deficiencia proteica que la albúmina sérica^{14,15}. La reducción plasmática de la transferrina indica un grado de malnutrición en afecciones clínicas como anemia ferropénica¹⁶, infecciones crónicas y trastornos hepáticos^{15,17}. La transferrina está directamente relacionada con la capacidad total de fijación del hierro (TIBC, de sus siglas en inglés). La cantidad de hierro que hay en la sangre depende de lo que se movilice por la transferrina y de su saturación (de ahí que pueda presentar una mayor o menor capacidad de fijación).

Las proteínas plasmáticas de vida media corta, como la tiroxina-prealbúmina (con una vida media de 2-3 días, y concentración plasmática de 20-50 mg/dL) o la retinol-proteína (con una vida corta de 12 horas y concentración plasmáticas de 37 μ g/dL) pueden ser consideradas como proteínas de alta sensibilidad para evaluar el estado nutricional proteico¹⁵, comparadas con la transferrina (sensibilidad intermedia) o la albúmina sérica (baja sensibilidad). Pese a que en

Tabla 1. Resumen de los parámetros bioquímicos, hematológicos y hormonales básicos sanguíneos y su significado fisiológico.

Compartimentos	Parámetro sanguíneo y valores estándar (adulto sano)	Significado fisiológico
Compartimento proteico visceral	Agudos: Prealbúmina (19-43 mg/dL), Retinol-proteína (15-67mg/L).	Disminuyen en estados de estrés, procesos de inflamación o hepatopatías. Sus niveles pueden bajar en estados catabólicos agudos o déficit de vitamina A y aumentan si se utilizan anticonceptivos orales o estrógenos.
	Tardíos: Transferrina (200-400 mg/dL), Albúmina (3,5-5 g/dL).	La transferrina aumenta en casos de anemia ferropénica y disminuye en hipoproteinemias. En el caso de la albúmina, se observa disminución en dietas hiperprotéicas o estados de hiperhidratación.

Tabla 1. (Continuación).

Compartimentos	Parámetro sanguíneo y valores estándar (adulto sano)	Significado fisiológico
Metabolismo proteico	Proteínas totales (6-7 g/dL). Urea (10-40 mg/dL).	La elevación de proteínas totales puede ser debido a la deshidratación y su disminución por el ayuno prolongado o desnutrición. Los niveles de urea en sangre en deportistas de resistencia suelen estar ligeramente aumentados. Se elevan mucho cuando hay déficit de glucógeno o alta utilización proteica en el deporte. Sus niveles aumentan en el caso de deshidratación, hipercatabolismo muscular o proteólisis intensa.
	Aminoácidos relevantes en el deporte: tirosina, 3 metil-histidina, AA ramificados (leucina/ isoleucina/valina), triptófano o alanina.	Durante el ejercicio de corta/media duración, los AA provenientes del tejido miocárdico y del músculo esquelético aumentan la aminoacidemia en el plasma. Sin embargo, en los ejercicios de larga duración esta concentración de AA plasmáticos disminuye, posiblemente por la utilización de éstos por los órganos o tejidos que lo requieren.
Lípidos sanguíneos	Colesterol Total (140-200 mg/dL).	Aportan información acerca de la salud de las arterias. Los triglicéridos pueden aportar información acerca de la ingesta de lípidos en la dieta y su utilización a través de la lipoproteína lipasa (LPL).
	cHDL (35-85 mg/dL) (deportistas: encima de 50-mg/dL).	El cHDL, con deporte aeróbico periódico, eleva sus niveles, ofreciendo protección cardiovascular.
	cLDL (60-150 mg/dL). Triglicéridos (TG) (35-170 mg/dL) (deportistas: debajo de 70-100 mg/dL).	En el deporte se pueden observar aumentos de cLDL en situación de gran actividad física o entrenamientos en altitud, debido al estrés oxidativo. Por otra parte el abuso de grasas saturadas aumenta sus niveles. Los TG sanguíneos con ejercicios aeróbicos de larga duración bajan considerablemente, por el aumento de la LPL. El abuso de grasas saturadas, alcohol o azúcares, aumenta sus niveles.
Metabolismo de los hidratos de carbono	Glucemia (70-100 mg/dL) (deportistas: cerca de 80 mg/dL).	Respecto a efectos agudos, la desnutrición o ayuno prolongado, pueden hacer que sus niveles estén más bajos. Los deportistas de resistencia de larga duración, suelen dar glucemias más bajas, al tener más tolerancia a la hipoglucemia.
Valoración de iones plasmáticos	Na (135-145 mEq/L)	Elevación en estados de deshidratación y aumento de consumo de bebidas salinas.
	K (3,7-5,2 mEq/L)	Aumenta en estados de acidosis y deshidratación y disminuye en ayuno prolongado e hipernatremia.
	Cl (98-106 mmol/L)	Na y K, ambos disminuyen cuando hay diarreas y vómitos.
	Mg (1,7-2,2 mg/dL)	No se observan variaciones durante la actividad física.
	Ca (8,8-10,8 mg/dL)	Disminución en los deportes de larga duración y ultra-resistencia. Sufre pocas variaciones por el deporte. Por sudoración profusa podría haber una pérdida añadida.
Metabolismo del hierro*	Hierro sérico: H: 45-170 µg/dL. M: 50-140 µg/dL.	Puede haber muchas variaciones, según la necesidad de utilización de éste, con más razón en el deporte.
	Ferritina: H: 12-300 ng/mL. M: 10-150 ng/mL (deportistas de resistencia: entre 12-60 ng/mL).	Una disminución de la ferritina (déficit de hierro), es suficiente para realizar una intervención dietético-nutricional (estado preanémico), ya que una bajada en los valores de hemoglobina por debajo de 12-14 mg/dL, mujer-hombre, significaría una anemia. Los deportistas de larga duración suelen tener habitualmente bajos sus niveles. Su disminución puede deberse al déficit de hierro dietético, deficiencia de proteínas, Sangrado intestinal en ejercicio muy intenso o impacto constante contra el pavimento.
	Transferrina (200-400 mg/dL)	Elevación en déficit de Fe o anemia ferropénica y, en casos de hipoproteinemia, puede darse una disminución. En los deportistas está ligeramente aumentada.

Tabla 1. Continuación.

Compartimentos	Parámetro sanguíneo y valores estándar (adulto sano)	Significado fisiológico
Hematología y serie roja (glóbulos rojos)	Recuento de hematíes: H: 4,5-6,5 mill/mm ³ . M: 3,8-5,8 mill/mm ³ .	Su disminución se da en anemias en general y su aumento en estados de deshidratación.
	Hemoglobina (Hg): H: 14-18 g/dL, M: 12-16 g/dL (deportes de resistencia: estos valores a la baja).	Su disminución se da en anemias, hemodilución e hiperhidratación o déficit de Fe, Cu o Co.
	Hematocrito (Hct): H: 40-50%, M: 35-45%.	Disminución en casos de pseudoanemia, habitual en deportes de resistencia aeróbica de larga duración. Se observa aumento en casos de transfusiones sanguíneas, administración de EPO o deshidratación.
	Volumen corpuscular medio (VCM) (80-100 fL).	Disminución en anemia ferropénica y aumento en casos de anemia megaloblástica, déficit de vitamina B12 o ácido fólico. Valores de VCM altos quieren decir que los glóbulos rojos son viejos, menos flexibles y tienen más susceptibilidad a romperse.
	Reticulocitos (Ret) (0,5 a 1,5% total de hematíes)	Los reticulocitos aumentan cuando se realizan exposiciones en hipoxia, estancias en altitud, toma de EPO o también en estados de anemia
Hematología y serie blanca	Leucocitos (4.000-10.000/mm ³)	Disminuyen sus valores cuando las defensas están bajas sobre todo en estados de desnutrición o déficit de glucógeno, cuando la planificación deportiva ha sido muy exigente y en estados de sobreentrenamiento.
	Linfocitos (46-45%)	Disminuyen cuando hay esfuerzos de gran volumen de entrenamiento o se toman esteroides.
	Neutrófilos (55-70%)	Con déficit de vitamina B ₁₂ disminuyen. Se dan aumentos en esfuerzos submáximos prolongados, gran estrés o infecciones bacterianas.
	Eosinófilos (1-4%)	En situaciones de gran estrés y ejercicio físico intenso, disminuyen.
Hormonas	Testosterona (0,4-5 nmol/L)	Se dan niveles más altos cuando se realizan entrenamientos de fuerza y más bajos en fases de entrenamiento de gran volumen. El entrenamiento de fuerza es un estímulo potente para el aumento de la hormona.
	Cortisol (en ayunas, 8-12 h: 5-25 µg/dL, 12-20 h: 5-15 µg/dL, 20-8 h: 0-10 µg/dL).	Su niveles elevados muestran un gran estrés psicofísico. El aumento de los niveles puede ser causa de entrenamiento excesivo, poca recuperación, mucha destrucción muscular, poco descanso-sueño u otros factores dietéticos como falta de glucógeno y utilización de otros recursos como las proteínas como combustible energético (que se reflejaría con aumentos de urea).
	Índice de T/C (< 1)	Su bajada puede indicar un estado de sobreentrenamiento y su aumento un estado anabólico.
	Catecolaminas (500-1000 ng/L)	Disminución en estados de sobreentrenamiento y aumento con entrenamientos de alta intensidad de carácter anaeróbico o estrés.

*Las deficiencias de hierro, ácido fólico y vitamina B₁₂ provocan una disminución del rendimiento físico, aumentando las posibilidades de anemia. Los atletas de alto rendimiento podrían tener una ingesta insuficiente de vitaminas del grupo B si se alimentan con dietas monótonas o de bajo consumo energético. Los depósitos de hierro son muy importantes en los deportistas, ya que tienen una relación estrecha con el buen funcionamiento de la hematopoyesis y la formación de los glóbulos rojos, que ayudan en la recuperación del deportista¹⁶.

clínica aún se siguen utilizando la transferrina y la albumina sérica como indicadores estándar del estado proteico visceral^{17,18}, en el caso del deporte se propone la utilización de la tiroxina-prealbúmina o retinol-proteína (vida media de 12 horas), ya que estos indicadores pueden permitir una evaluación temprana del estado proteico visceral, evitando así una posible disminución del rendimiento del deportista cuando hubiera alguna deficiencia⁷.

Evaluación del metabolismo proteico

En la situación de degradación proteica o gluconeogénesis (ayuno o ejercicio intenso), los aminoácidos (AA) transaminan con alfa-ceoglutarato dando un cetoácido –que se puede utilizar como sustrato energético– y glutamato, el cual sufre una desaminación formándose un nuevo alfa-cetoglutarato y NH₃ (que se transforma en urea). Esta urea

puede ser producto de la alta ingesta proteica y/o de una alta utilización del ciclo glucosa-alanina y, en consecuencia, una utilización proteica para conseguir energía en ausencia de glucógeno muscular. Por ello, la urea puede ser un buen indicador para valorar el metabolismo proteico (excesiva toma de proteínas en la dieta) o ausencia de los depósitos de glucógeno muscular¹⁹.

Por otra parte, los AA libres son aquellos presentes en el plasma y el músculo que no van unidos a las proteínas. Tienen una estrecha relación con la urea y el catabolismo proteico como sustratos de regulación. Así, resulta interesante valorar la aminoacidemia para determinar los efectos del entrenamiento o para detectar posibles síndromes de sobreentrenamiento o fatiga crónica. Algunos autores sugieren que una mayor concentración para determinados AA (tirosina, 3 metil-histidina, AA ramificados o alanina) podrían servir como indicadores de utilización de la proteína como combustible energético y otros AA (triptófano o glutamina) son indicadores de fatiga crónica¹⁹. La disminución de estos AA en sangre indica que hay un estado catabólico elevado, que supone la utilización excesiva de estos por diferentes órganos y tejidos. En esta situación se recomienda hacer una recuperación los días posteriores y aumentar la ingesta de hidratos de carbono en la dieta del deportista²⁰.

Importancia del estado inmunológico en el deporte

El estado de desnutrición proteico-calórico se asocia a un estado de depresión del sistema inmune y bajas cifras totales de linfocitos. Dicha situación suele ocurrir cuando los deportistas están en su "pico" de forma, es decir, al límite de su peso de competición y con un porcentaje de grasa muy bajo, aproximadamente un 4-6% en hombres y un 8% en mujeres²¹. Teniendo en cuenta que para el adecuado funcionamiento de los órganos se necesita una cantidad mínima de grasa corporal, una evaluación cineantropométrica podría revelar un posible riesgo de desnutrición y determinar su relación con el rendimiento deportivo, siendo necesario valorar el tiempo máximo que podría persistir con unos mínimos depósitos de grasa. Como norma general, un deportista no puede conservar un estado de salud adecuado manteniéndose en su peso de competición (no siempre se corresponde con el peso saludable) durante más de 3-5 semanas^{6,7,8}. Pasado dicho tiempo, suele existir una mayor susceptibilidad a padecer infecciones debido a un sistema inmunario deteriorado¹³.

Ante un bajo recuento de linfocitos, antes de realizar ninguna interpretación en relación al estado proteico visceral deben descartarse otras posibles causas clínicas de linfopenia, como por ejemplo, el tratamiento con agentes inmunosupresores, radiaciones, infecciones virales o la administración exógena y continuada de glucocorticoides u otros fármacos. Asimismo, se puede establecer una relación entre los nive-

les elevados de cortisol y el sistema inmunitario alterado en los deportistas²². La evaluación del estado inmunológico puede completarse mediante la determinación del cortisol, que se puede encontrar aumentado debido a situaciones de gran estrés psicofísico a las que algunos deportistas se ven sometidos antes de las principales competiciones, así como cuando la carga de entrenamientos es muy elevada y no se recupera adecuadamente.

Evaluación del perfil lipídico

Los lípidos se transportan en la sangre en forma de lipoproteínas y triglicéridos (TG). Las hormonas hiperglucemiantes liberadas durante el ejercicio (adrenalina, noradrenalina, glucagón, cortisol y hormona de crecimiento) permiten que se acelere la utilización de los TG mediante la lipólisis (paso de los ácidos grasos a la sangre), pasando a elevar los ácidos grasos libres y a posteriori aumentar su utilización mediante la β -oxidación. Existe una relación entre la utilización de ácidos grasos libres e hidratos de carbono durante el ejercicio según el tipo de dieta realizada antes del ejercicio o índice glucémico de la dieta anterior²³. Se ha observado que las dietas altas en hidratos de carbono antes de realizar actividad física pueden aumentar la utilización de los hidratos de carbono y viceversa. Si se hace un ayuno o se ingiere una dieta con más grasa antes²⁴, aumentaría la utilización de estas.

Por otra parte, en función de la intensidad del ejercicio realizado y de una mayor o menor utilización de las grasas como combustible energético, pueden verse modificados ciertos parámetros lipídicos, especialmente se observa en los triglicéridos sanguíneos, con una tendencia a la baja en jóvenes, y en los deportes de resistencia de larga duración, debido a una mayor actividad de lipoproteína lipasa en el músculo esquelético²⁵.

Los parámetros que integran el perfil de lípidos para la valoración de la salud cardiovascular y disminución de riesgo cardiovascular suelen ser los siguientes:

Colesterol Total (CT): como norma general, es importante evitar tenerlo alto (> 200 mg/dL). Sin embargo, no debe evaluarse de forma aislada, sino que debe hacerse de forma conjunta con los diferentes valores de otros tipos de colesterol, como HDL y LDL²⁶.

Colesterol HDL (cHDL): también conocido como colesterol "bueno". El ejercicio físico de carácter aeróbico induce a aumentar ligeramente los niveles de colesterol HDL²⁶, al igual que sucede con la ingesta de grasas monoinsaturadas (aceite de oliva, frutos secos como las almendras, etc.)²⁷. De la misma manera, esta protección arterial aumenta con el número de sesiones semanales de ejercicio y cesa a los 4 días, una vez abandonada la actividad física²⁶.

Colesterol LDL (cLDL): conocido como colesterol "malo", ofrece predisposición para la aterosclerosis si sus niveles están altos y es el tipo de colesterol que menos baja con la actividad física. Un estudio realizado en nadadores, jugadores de voleibol y futbolistas, ha relacionado la lipoproteína a como factor de riesgo para lesiones ateroscleróticas por su interacción con la apolipoproteína (apo) b100 con LDL y HDL; pero sus resultados no son extrapolables a la práctica deportiva con fines cardiosaludables²⁸. Diversos estudios han mostrado que la modificación de la dieta o incremento de ejercicio no logran disminuir los niveles de Lpa como lo hacen el colesterol total o como el cHDL²⁶.

Otros estudios muestran que un alto volumen de entrenamiento, o programas profesionales de entrenamiento con ejercicios de muy larga duración (llamados de ultra-resistencia, como el alpinismo), se acompañan de cambios oxidativos en las partículas LDL²⁹. También ocurre en jugadores profesionales de fútbol y baloncesto³⁰, en corredores de maratón²⁹ e incluso en individuos entrenados sometidos a una sesión aguda, con ejercicios de muy larga duración hasta la fatiga³¹. Un aumento del cLDL en deportistas podría significar una mayor proporción de ox-LDL circulante, debido al aumento del estrés oxidativo y el aumento de los radicales libres de oxígeno (ROS) durante el ejercicio^{29,30}.

Pese a lo dicho, se ha observado que además del aumento de ox-LDL que se produce en los deportistas, después de periodos prolongados de entrenamiento de moderada intensidad se ve aumentada también la capacidad antioxidante en plasma³¹, fenómeno que pone de manifiesto la posibilidad de la existencia de un mecanismo de adaptación natural endógeno. Sin embargo, son necesarios más estudios para verificar este fenómeno y aclarar los mecanismos involucrados. En términos generales, cuanto más bajos sean los niveles de cLDL mejor será para el deportista, ya que tiene mayor susceptibilidad a las peroxidaciones³²⁻³⁴. Por otra parte, cabe decir que el deporte extremo y de gran estrés oxidativo afecta negativamente en el perfil de colesterol del deportista³⁴.

Triglicéridos (TG): transportan los ácidos grasos y se utilizan para obtener energía. Tenerlos elevados es perjudicial ya que aumentan la viscosidad de la sangre y con ella sus efectos negativos para el rendimiento y la salud: aumento de la resistencia periférica y menor fluidez sanguínea (alterando la presión arterial, coagulación, posible riesgo de trombos, etc.)³³.

Según Fernández *et al.*³³ y Ruiz *et al.*³⁴, existe una relación entre la elevación de los triglicéridos en sangre y una mayor susceptibilidad a la oxidación del cLDL. El mecanismo está mediado por la elevación de la insulinemia (también sucede cuando hay ingesta alta de azúcares) y mecanismos inflamatorios (debido a los microtraumatismos generados por

el deporte y el gran estrés oxidativo que producen), entre otros. No obstante, la relación existente entre la hiperlipemia y situaciones de gran estrés oxidativo puede ser causante de un empeoramiento de la salud en el deportista y, por ello, conviene mantener los lípidos sanguíneos, sobre todo TG y cLDL, bajos.

Perfil lipídico, antioxidantes y tipos de actividad física

La exposición a radicales libres conduce a los organismos a desarrollar una serie de mecanismos de defensa antioxidante. Pese a que la suplementación con antioxidantes es muy habitual en el deporte, cabe decir que la propia actividad físico-deportiva realizada periódicamente de una forma ligera-moderada (50-70% VO₂max) ha mostrado estimular la actividad de las enzimas antioxidantes, lo que podría considerarse como un mecanismo defensivo de las células sobre el estrés oxidativo; siendo el propio ejercicio un estimulador de mecanismos antioxidantes en el organismo y no siendo necesaria, al menos durante actividad física intensa, la toma de antioxidantes exógenos³⁵.

Pese a que la intensidad y la duración de la actividad física son necesarias para observar efectos beneficiosos en el perfil lipídico, esta relación no está aún claramente definida y se recomienda que los deportes practicados no sean de ultra-resistencia ni muy traumáticos³⁴. Algunos estudios parecen indicar que ciertos deportes con alto grado de estrés físico-muscular (como fútbol, rugby o baloncesto) podrían afectar negativamente al perfil lipídico de los deportistas³⁴, mientras que los deportes de resistencia aeróbica, no traumáticos (ciclismo, remo, natación) podrían ayudar a mejorar el perfil de triglicéridos, cHDL y cLDL³⁶.

Metabolismo de los hidratos de carbono

Es indicador del funcionamiento y regulación de la glucemia y metabolismo de los hidratos de carbono (HC). La glucemia está regulada por la acción de varias hormonas: directas (insulina y glucagón) e indirectas (catecolaminas, cortisol y somatotropina). Se podría decir que depende de muchos factores difíciles de controlar, tales como la dieta y la sensibilidad del hígado. Aunque es un parámetro variable según la dieta previa y los niveles de insulina, respecto a los efectos de la actividad física de larga duración, a la larga se da una tendencia a la disminución de sus niveles. Los deportistas de resistencia de larga duración suelen tener glucemias más bajas, debido a una tolerancia a la hipoglucemia³⁷.

Variación de la concentración de iones plasmáticos

La determinación de iones se realiza con el objetivo de conocer las modificaciones del equilibrio hidroelectrolítico producidas por el ejercicio. Durante el ejercicio físico el metabolismo energético celular se incrementa, produciendo

cambios notables en las concentraciones de electrolitos en los diferentes compartimentos tisulares. Estas alteraciones se producen fundamentalmente a causa de la pérdida de agua por el sudor y la respiración³⁸. Se ha evidenciado que, tanto la actividad física recreativa como el deporte de alto rendimiento en condiciones de estrés calórico-ambiental, pueden ser responsables de numerosas respuestas patológicas producidas por el aumento de la temperatura corporal, pérdida de agua a través del sudor y el mecanismo de termorregulación del organismo.

Una de las principales consecuencias es la hiponatremia dilucional³⁸ que se da cuando, ante una mayor sudoración, se realiza una hidratación inadecuada, normalmente con bebidas hipotónicas en relación al sodio corporal. Esto debe tratarse a través de correctas estrategias de reposición hidroelectrolítica y que no son objeto de este trabajo.

Los iones más importantes en la evaluación de los deportistas son:

Sodio (Na⁺): algunos autores concluyen que el ejercicio físico agudo se acompaña de un aumento de la concentración plasmática de Na⁺ del 3-5% respecto al valor de reposo³⁸. Este aumento representa el efecto de la hemoconcentración inducida por el ejercicio, debido a la pérdida de agua a través del sudor. Pese a que el sudor representa la vía más importante de dispersión del Na⁺ durante el ejercicio, las pérdidas de agua son superiores, conduciendo al aumento de la concentración de Na⁺ en sangre. Se han registrado pérdidas de agua por sudor de aproximadamente 2-3 litros/hora (con intensidades por encima del 70% del VO₂max en ambientes calurosos, por encima de los 25-30 °C) en deportistas aclimatados al calor dado que pueden tener mayores índices de sudoración para obtener una mejor regulación de la temperatura corporal³⁸. Sin embargo, otros estudios concluyen que la concentración de Na⁺ disminuye en carreras de larga distancia y compitiendo en días consecutivos³⁹. Ambos resultados parecen indicar que la concentración de Na⁺ en sangre depende más del estado de hidratación que de las propias pérdidas de Na⁺; por lo que la concentración de Na⁺ podría ser de interés, tanto para el profesional sanitario como para el entrenador, a la hora de valorar el nivel de hidratación del deportista y poder así realizar una intervención adecuada. Por otra parte, se ha visto que los deportistas aclimatados al calor (estancias de 2 semanas entrenando en condiciones de calor ambiental), pierden menos cantidad de Na⁺ a través del sudor y por tanto suelen tener menores necesidades de Na⁺ durante la actividad física³⁸.

Potasio (K⁺): este ión se hace imprescindible en multitud de reacciones metabólicas. Su pérdida puede ocasionar debilidad muscular o afecciones a nivel cardíaco. En casos de déficit extremo, se pueden producir lesiones cardiovasculares, musculares y renales de tipo irreversible. El ejercicio modi-

fica los niveles de K⁺ plasmático³⁸, reportándose en algunos deportes incrementos de hasta un 20% respecto al valor inicial³⁹. Pequeños aumentos de K⁺ en sangre aumentan rápidamente los niveles de aldosterona³⁹.

Cloro (Cl⁻): el Cl⁻ es el principal compañero aniónico del Na⁺. En general, la ingestión, distribución y metabolismo renal de Cl⁻ se asemejan al del Na⁺. Así, la concentración de Cl⁻ suele regularse secundariamente a través del Na⁺, por ello tiene más importancia en el deporte el Na⁺. A su vez, si la concentración de bicarbonato aumenta, debido a la condición de alcalosis, una cantidad equivalente de Cl⁻ se excreta para mantener la neutralidad eléctrica. La absorción de Cl⁻ se realiza en unión al Na⁺, paralelamente al transporte de glucosa u aminoácidos. Al tener una estrecha relación podría haber variaciones de ésta si hay una variación grande de Na⁺ en sangre, cosa poco habitual fisiológicamente⁴⁰.

Magnesio (Mg²⁺): su participación en las reacciones de fosforilación y en las de óxido-reducción lo convierten en un ión fundamental en relación al ejercicio físico. Es un cofactor de varias enzimas involucradas en el metabolismo energético. Variaciones en sus niveles séricos podrían depender de la duración e intensidad del ejercicio⁴¹. Así, el descenso de Mg²⁺ que se produce en deportes de larga duración y baja intensidad podría deberse a un desplazamiento hacia el interior del hematíe o a la movilización de los ácidos grasos intramusculares con una finalidad energética⁴¹.

Calcio (Ca²⁺): es un ión muy importante en el deporte por su función como cofactor enzimático, y por su participación en el equilibrio óseo, coagulación, etc., además de ser imprescindible para la contracción muscular por su participación en el acoplamiento del complejo actina-miosina. La concentración del Ca²⁺ plasmático sufre pocas variaciones debido al ejercicio, mostrando pequeñas variaciones y no siempre significativas respecto a los valores basales; si bien el ejercicio agotador podría favorecer su excesiva eliminación a través del sudor³⁸.

Evaluación del metabolismo del hierro

En la evaluación analítica de los deportistas, sobre todo en deportes de resistencia de alto impacto (en los que pueden existir microtraumatismos) y especialmente en mujeres deportistas, cobra especial importancia el metabolismo del hierro¹⁶, ya que una anemia en el deportista es un factor limitante del rendimiento, bajando su rendimiento y recuperación.

Así para un adecuado control del mismo es necesario analizar los siguientes parámetros:

Hierro Sérico (Fe): es un componente fundamental de los glóbulos rojos, por su papel en el transporte de oxígeno a las células. El Fe es un elemento que se pierde en cantidades

nada desdeñables a través de la sudoración⁴², convirtiéndose en un parámetro de especial interés en la fase aguda post ejercicio. Tener el Fe sérico bajo en la fase de recuperación puede indicar déficits de hemoglobina y mioglobina, así como valores anómalos de citocromos.

Ferritina: parámetro muy importante y de gran fiabilidad al valorar los casos prelatentes de anemia. La ferritina sérica es un buen indicador de los depósitos de Fe en el organismo y, cuando sus niveles en sangre bajan considerablemente, suele haber alta susceptibilidad para que bajen los niveles de hemoglobina en sangre y por tanto una posible anemia. Valores por debajo de 12 ng/mL, suele considerarse como un indicador específico de deficiencia de hierro (especificidad del 98%)¹⁶. Sin embargo la ferritina puede verse alterada, de forma independiente al estado de hierro, por procesos crónicos inflamatorios o infecciosos, e infecciones agudas recurrentes que se dan habitualmente en el deporte¹⁶.

Transferrina: esta proteína es un indicador de la capacidad del organismo para transportar Fe. Puede ser otro de los indicadores de gran importancia en la evaluación de estados de déficit de Fe. La transferrina se verá aumentada cuando exista un gran déficit de Fe o anemia ferropénica. Sin embargo, la transferrina estará disminuida en casos de desnutrición proteica, cirrosis o anemia hemolítica^{17,18}.

Para una correcta evaluación del estado del Fe en el deportista no será suficiente con medir el Fe sérico, la ferritina y la transferrina, sino que además habrá que prestar especial atención a otros parámetros hematológicos como la serie roja (glóbulos rojos) o a los niveles hemoglobina, ya que éstos informarán de una verdadera anemia ferropénica, siendo necesario para ello realizar un análisis hematológico completo⁴³.

A continuación se detallarán los aspectos relevantes sobre la hematología en el deporte.

Hematología deportiva

La adaptación a la actividad muscular está relacionada con cambios en el volumen y concentración total de la sangre, del plasma sanguíneo y de sus células, modificando la interpretación de los resultados analíticos^{11,43}. En algunos casos, estos cambios son esenciales para mejorar el rendimiento y deben entenderse como alteraciones positivas y transitorias para el deportista⁹.

A su vez, las pruebas hematológicas deben realizarse como mínimo cada dos-tres meses en los deportistas debido a que el periodo de vida de los glóbulos rojos es bastante inferior en deportistas de alto rendimiento (aproximadamente 2-3 meses respecto a los 128 días de la población general)⁴². En el caso de realizar entrenamientos en altura o hipoxia, es de gran interés realizar la extracción de sangre al inicio

y al final del periodo de entrenamiento para poder valorar objetivamente el aumento de los glóbulos rojos y la eficacia de los entrenamientos a nivel hematológico¹¹. Como norma general, las pruebas hematológicas suelen pedirse en cada una de las 3 fases de la temporada: periodo preparatorio general, periodo específico y periodo competitivo, sobre todo si se trata de deportes de resistencia de larga duración y, más aún, cuando el deportista sea mujer y el deporte de gran impacto³⁸. Mercer y Densmore³⁹ muestran en su revisión las diferentes alteraciones hematológicas que se pueden observar en los deportistas, según el tipo de deporte o condiciones ambientales como la altitud e hipoxia.

Dentro de la hematología se pueden diferenciar, por una parte las células: a) glóbulos rojos (serie roja), relacionados con el transporte de oxígeno a los tejidos, y b) glóbulos blancos (serie blanca), relacionados más con el sistema inmunológico; y por otra parte el plasma, importante en el deporte por el aumento que se da en el volumen total de la sangre debido, sobre todo, a un aumento significativo del plasma sanguíneo¹⁴.

ADAPTACIONES Y CAMBIOS EN LA SERIE ROJA: TRANSPORTE DE OXÍGENO A LOS TEJIDOS

Recuento de hematíes (glóbulos rojos): los eritrocitos son las células sanguíneas encargadas del transporte del oxígeno a todas las células del organismo. Los valores normales oscilan entre 3,8 y 5,8 millones por cada milímetro cúbico en mujeres, y entre 4,5 y 6,5 millones en hombres. El recuento eritrocitario puede dar información acerca de anomalías como la anemia ferropénica u otras anemias, proceso en el que se observa una disminución de los eritrocitos: la hemoglobina (por debajo de 12-14 mg/del, mujeres-hombres), la saturación de transferrina (por debajo de 16%) y la ferritina (por debajo de 12 µg/dL). Los procesos anémicos deben analizarse e interpretarse con mucha cautela en los deportistas, especialmente en los fondistas y en otros deportes de larga duración, en los cuales se puede detectar la llamada "*falsa anemia del deportista*" (pseudanemia) como consecuencia de una adaptación hematológica al entrenamiento. En estos casos, el aumento del volumen plasmático produce una disminución relativa o porcentual (no tienen por qué ser valores absolutos menores) del número de hematíes, situación muy similar a la comentada anemia ferropénica⁴³. La expansión sanguínea es observada en mayor medida cuando se realizan entrenamientos durante 2 semanas en ambientes calurosos (por efecto de la aclimatación)³⁸.

Hemoglobina: la hemoglobina se encuentra en los glóbulos rojos, a la vez que el hierro, y es una proteína capaz de unir-

se al oxígeno para su transporte en la sangre. Se trata de un parámetro que se debe analizar con frecuencia en los deportistas, convirtiéndose en un criterio que mide la adaptación al entrenamiento, sobre todo al aeróbico y en condiciones de hipoxia (altura)⁴². Algunos estudios sugieren que tras un programa de entrenamiento aeróbico, de gran volumen durante 2 semanas, se reducen los niveles de hemoglobina⁴⁴ y, en cambio, los entrenamientos en altura o en hipoxia intermitente la aumentan⁴⁵. Tener altos niveles de consumo de oxígeno máximo ($VO_2\text{max}$) es un factor de gran importancia para un adecuado rendimiento deportivo⁴⁴, por lo que la recuperación de unos niveles de hemoglobina adecuados, en los días anteriores a una competición (puesta a punto que dura entre 1-2 semanas), será de vital importancia. Si los niveles de hemoglobina no aumentan en esta fase de recuperación, es posible que haya un estado de sobreentrenamiento, lo cual es una mala señal para el deportista^{13,37}. Cabe añadir que en casos de diagnóstico de una anemia, ha de ser realizada por el médico deportivo y, además de la valoración analítica, hay que valorar la etiología y realizarse una valoración clínica. En la anemia latente ya suele experimentarse fatiga general (astenia), que puede acompañarse de falta de apetito y dolores de cabeza.

Hematocrito: en esta prueba se mide el porcentaje de eritrocitos en la sangre; es decir, el porcentaje de células que transportan oxígeno frente al volumen total de sangre. Existen muchos factores que pueden alterar este valor (por ejemplo: la variación del volumen plasmático, la deformidad de los glóbulos rojos, la hemólisis y otras pérdidas sanguíneas)⁴⁴, por lo que su interpretación debe hacerse con cautela. La viscosidad sanguínea es otro aspecto muy relacionado con el hematocrito (a mayor valor, mayor viscosidad) y esto puede llevar a una disminución del $VO_2\text{max}$.

La prueba de hematocrito se ha utilizado para el control del dopaje sanguíneo (pasaporte biológico), en el cual se presume el consumo de eritropoyetina (EPO) ante valores iguales o superiores al 50% que no descienden en una semana⁴⁶. Por encima de dicha cifra de hematocrito se prohíbe a los deportistas competir, no sólo por sospecha de dopaje, sino también por el aumento del riesgo de trombosis (riesgo aumentado debido a la hiperviscosidad sanguínea)⁴⁶. Un ejemplo de los riesgos que conlleva dicha hemoconcentración se puede hallar entre sujetos de poblaciones andinas (Perú, Bolivia o Chile), que viven en altitudes superiores a los 4.000 m, realizando trabajos que conllevan una actividad física considerable (explotación de minas, agricultura, etc.). Dicha población, tiene un mayor riesgo de padecer problemas cardiovasculares debido, entre otros, a tener los valores de hematocrito por encima del 55%⁴⁷, siendo un problema de salud pública para estas poblaciones andinas.

Volumen Corpuscular Medio (VCM): es un parámetro que refleja el tamaño de los glóbulos rojos. Un VCM alto y un

recuento de hematíes bajo puede indicar anemia macrocítica o megaloblástica. Asimismo, un VCM bajo y un recuento de hematíes bajo puede indicar anemia ferropénica⁷. El VCM puede verse también como un indicador de adaptación a la altura y, por lo tanto, será uno de los parámetros alterados en sujetos que realicen estancias en altitud o entrenamiento en hipoxia intermitente⁴⁵.

Hemoglobina Corpuscular Media (HCM): este parámetro da información sobre la cantidad de hemoglobina que hay en el eritrocito y, por tanto, en relación directa con la eritropoyesis de forma independiente al volumen plasmático y sanguíneo, pronosticando el estado del transporte de oxígeno⁷.

Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media (CHCM): es la cantidad de hemoglobina por volumen de células independientemente del tamaño celular. Este parámetro puede ser un indicador indirecto de la adaptación a la altura si existe reticulocitosis⁷.

Reticulocitos: son formas inmaduras de hematíes. Sus niveles en sangre aumentan cuando se demanda una mayor producción de éstos, lo que es propio de ciertas anemias. La aparición de estas células y su incremento es un parámetro que indica adaptación a las cargas de trabajo de predominio aeróbico, para mejorar el transporte de oxígeno. Su presencia optimiza las reservas de hematíes, pudiéndose provocar su incremento mediante estancias en altitud o hipoxia intermitente⁴⁵. La administración de eritropoyetina recombinante humana estimula la producción de reticulocitos y es por ello que, en los comités antidopaje, suele ser un parámetro muy seguido⁴⁶.

Volumen sanguíneo: es el indicador ideal para conocer el estado hídrico del deportista y su adaptación fisiológica al entrenamiento, especialmente si es de resistencia de larga duración. Debido al entrenamiento el volumen plasmático aumenta en mayor proporción que las células sanguíneas, produciendo un descenso de la concentración de hematocrito⁴². Los estímulos más eficaces para el aumento de la volemia son los entrenamientos en altura, hipoxia intermitente y entrenamientos en condiciones adversas, calor y humedad relativa alta (aclimatación al calor)^{42,45}.

ADAPTACIONES Y CAMBIOS EN LA SERIE BLANCA: SISTEMA INMUNOLÓGICO

Los leucocitos, también denominados glóbulos blancos, son células del sistema inmunitario y se clasifican en dos grandes tipos: los granulocitos o polimorfonucleares (neutrófilos, basófilos y eosinófilos) y los agranulocitos (linfocitos y monocitos). Sus valores normales globales oscilan entre 4.000 y 10.000 células por milímetro cúbico¹.

Es importante destacar que con los entrenamientos intensos y prolongados (especialmente en deportes como la carrera a pie) se producen constantes microtraumatismos, que a su vez provocan una elevación en el recuento de leucocitos^{3,6,37}. No obstante, tras el ejercicio sus cifras suelen normalizarse en unas 24-36 horas⁷. Por otra parte, el esfuerzo submáximo prolongado con altos volúmenes de trabajo, puede elevar los niveles de neutrófilos y reducir los niveles de linfocitos^{6,7}, lo que eleva el riesgo de que el sistema inmunológico decaiga, más cuando los depósitos de glucógeno están vacíos y los niveles de cortisol elevados^{12,13}. Los eosinófilos, no obstante, son muy sensibles al entrenamiento intenso, de manera que un nivel muy exigente puede provocar una disminución del recuento de estas células^{6,7}.

Los monocitos y basófilos no suelen verse alterados por el deporte. Los basófilos suelen verse aumentados en el caso de alergias y monocitos en enfermedades víricas o enfermedades crónicas¹.

Parámetros hormonales en el deporte

Los estudios hormonales proporcionan información sobre la adaptación a determinados niveles de intensidad y duración del ejercicio, así como sobre las alteraciones de esa adaptación (agotamiento de la capacidad adaptativa del organismo y fenómeno de sobreentrenamiento)¹². Las valoraciones hormonales pueden ser utilizadas para la evaluación del efecto de la sesión de ejercicios y para el control de los periodos de recuperación. Por ejemplo, el índice de testosterona/cortisol (T/C) se suele utilizar para valorar los procesos de recuperación del deportista y detectar una posible mala adaptación al entrenamiento, o bien un sobreentrenamiento¹³.

Los mecanismos de acción hormonal son de gran importancia para la regulación homeostática y la activación de los mecanismos adaptativos. Los cambios hormonales han sido estudiados en diferentes deportes^{48,49}. El seguimiento de ciertos parámetros hormonales parece ser especialmente útil para ver la respuesta que tienen los deportes de equipo ante un programa de entrenamiento o un asesoramiento dietético-nutricional.

Respecto a las diferentes hormonas que se podrían analizar cabe mencionar las siguientes:

Testosterona Libre: puede ser un buen marcador del impacto de la carga física y la adaptación al ejercicio a largo plazo debido a un mayor poder anabólico. Niveles bajos pueden indicar, a medio plazo, un estado de sobreentrenamiento, que se mostraría también con aumentos del cortisol sanguíneo. Así, algunos autores han encontrado descensos de testosterona en sujetos sobreentrenados^{48,49}.

Por otra parte, generalmente, los velocistas o deportistas de fuerza, ostentan niveles basales de testosterona libre (TL)

mayores que los fondistas^{48,49}. Asimismo, tras un periodo de entrenamiento crónico se observan diferencias en sus niveles, con tendencia a elevarse en entrenamientos con un gran componente anaeróbico o de fuerza y a disminuir en deportes de resistencia aeróbica (especialmente cuando se integran entrenamientos de resistencia de larga duración)⁴⁸.

Cortisol: es una hormona catabólica producida en las glándulas suprarrenales. Eliminadas otras posibles causas de aumento de cortisol (su posible relación con el estado proteico visceral, sistema inmune, etc. comentado anteriormente) en el deportista, pueden encontrarse niveles aumentados de esta hormona cuando se realizan grandes cargas de entrenamiento (ejercicios físicos continuos de larga duración) variando ante el entrenamiento agudo y/o crónico^{47,48,49}. Niveles altos indican que el entrenamiento está causando un gran estrés en el organismo, bien debido a que la carga de entrenamiento es muy grande, porque los depósitos de glucógeno son bajos, porque el deportista no está descansando adecuadamente u otros factores. En estos casos se debería revisar la alimentación y el descanso, así como los factores que están causando estrés al deportista^{24,48}.

Índice Testosterona/Cortisol (T/C): este índice se utiliza como indicador de la carga interna de entrenamiento (entendida como respuesta individual del organismo ante unos ejercicios o actividad física que contempla una sesión de entrenamiento) en el deportista, y también para valorar el proceso de recuperación y adaptación. Dicha información puede servir tanto para individualizar las cargas de entrenamiento, como para poner en marcha estrategias dietético-nutricionales que puedan mejorar el estado y el rendimiento del deportista^{48,49}, sobre todo en relación a los procesos anabólicos y catabólicos. Respecto a las estrategias nutricionales planteadas, el aumento de HC en la dieta (cerca de los 7-11 g/kg de peso/día) y mantener protocolos de recuperación mediante una combinación de HC (1-1,5 g/kg de peso) y proteínas (en una proporción 3/1 HC/proteína) junto a la toma de aminoácidos ramificados, ayudará a que este índice no baje, pese a que además será necesario cada semana incluir días de recuperación completa y atender a un protocolo adecuado de rehidratación⁵⁰.

Algunos autores proponen dicho índice como una forma de diagnosticar el síndrome de sobreentrenamiento (situación catabólica con gran estrés psicobiológico donde el deportista no llega a recuperar adecuadamente para generar mecanismos de supercompensación)⁵¹. Es por ello que, en aquellas situaciones de inadaptación al entrenamiento, dicho cociente descendería debido a los altos niveles de cortisol y a los bajos niveles de testosterona existentes en dicho estado. Como anteriormente se ha comentado, el aumento del cortisol muestra una relación directa con el estrés psicofisiológico⁴⁹⁻⁵². Por un lado, en deportes de equipo, se alega que este índice puede ser de gran utilidad para valorar la

carga interna de los entrenamientos y actuar ante los resultados del mismo⁵³, especialmente a partir de mediados de la temporada. Así, este índice integra mejor la situación psicobiológica que utilizar los parámetros como el cortisol y

testosterona individualmente. Otros autores han utilizado el T/C como parámetro indicador de salud y bienestar psicológico del deportista, si esta se mantiene estable a lo largo de la temporada⁵⁴.

Tabla 2. Resumen de los parámetros biológicos de la orina y su significado fisiológico.

	Parámetro biológico y valor de referencia	Significado fisiológico
Densidad	1002-1035 (kg/L)	Disminuyen los niveles en caso de hiperhidratación. Se eleva en los casos de deshidratación, escasa ingesta de líquidos, fiebre o ejercicio físico de larga duración. No cabe duda que el ejercicio físico induce un aumento de la densidad de la orina.
Reservas de glucógeno	Acetona, acetoacetato, beta-hidroxibutirato (cuerpos cetónicos)	Las cetonas aparecen en la orina cuando existe un metabolismo anormal o disminuido de carbohidratos, por lo cual es muy común hallarlas durante el ayuno, el ejercicio prolongado o cuando existen vómitos reiterados. Cuando aparecen valores altos puede ser indicativo de que se está entrenando sin glucógeno muscular y está aumentado la lipólisis y también proteólisis, mediante AA ramificados (obtención directa de energía) y ciclo de glucosa-alanina (indirecto).
Acidosis renal	pH (4,6-8) (en deportistas por debajo de 6 habitualmente)	La orina ácida (por debajo de 5-6) se asocia con cálculos de xantina, cistina, y oxalato de calcio. No obstante, en el deporte, cuando existe acidosis se debe a la acidosis metabólica producida por la actividad física. El pH en la sangre debe mantenerse en un rango muy estable (7,35 - 7,45) pero en la orina se dan mayores variaciones. Cuando el pH en la orina es muy bajo, puede indicar que la intensidad del entrenamiento ha sido alta. También puede ser debido a la fiebre, hiponutrición y especialmente a la deshidratación, ayuno o dietas hiperproteicas. La orina alcalina (pH superior a 7,5) puede indicar la toma de anfetaminas u otros estimulantes, infecciones o dieta vegetariana o alimentos alcalinizantes renales (ingesta de verduras, frutas y lácteos). En condiciones normales, para un deportista la orina es ligeramente ácida (pH 4,5 - 5,5).
Proteínas en la orina	< 150 mg/24 h	Pueden aparecer proteínas en la orina en situaciones anormales, pero suelen aparecer sobre todo en deportistas de ultra-resistencia, si el ejercicio físico ha sido de mucha carga en cuanto a la intensidad y duración. Por otra parte aparecería en el caso de glomerulonefritis o en síndrome nefrótico.
Hematies en la orina	< 5/campo	Aumentos en el caso de infección en el tracto. Suele aparecer, sobre todo, en deportistas de ultra-resistencia, si el ejercicio físico ha sido de mucha carga en cuanto a la intensidad y duración.
Sodio urinario	40-220 meq/L	Se observan aumentos en el caso de deshidratación, insuficiencia renal, toma de diuréticos o cetoacidosis diabética. Disminución en los casos de hipovolemia severa e hipersudoración.
Metabolismo proteico	Creatinina, 3-metilhistidina (3-MH)	Aunque es un indicador indirecto, puede ayudar a predecir la masa muscular utilizada. Indicaría el estado catabólico-anabólico del músculo.
	Nitrógeno urinario	Se realiza para determinar el equilibrio proteínico de una persona y/o la cantidad de proteína necesaria en la dieta (para pacientes gravemente enfermos). También se utiliza para determinar qué cantidad de proteína consume una persona. Por tanto, es un parámetro muy importante para determinar el estado catabólico-anabólico del deportista.

Catecolaminas: aparte del índice de T/C, aunque no suele ser muy frecuente, se pueden utilizar las catecolaminas, puesto que estas disminuyen en estados de sobreentrenamiento y aumentan cuando se realizan ejercicios de gran intensidad o situaciones de estrés⁵⁵.

Para terminar con el análisis de las hormonas, cabe decir que los factores dietético-nutricionales, el entrenamiento excesivo, el descanso inadecuado, las alteraciones en los patrones circadianos, etc., afectarán a la secreción adecuada de las hormonas anabólicas (testosterona entre otras) y catabólicas (cortisol), que serán factores indispensables para que se den adaptaciones adecuadas al entrenamiento, así como para mantener la salud psicofísica⁵⁶.

Análisis bioquímicos de la orina

Aunque los análisis bioquímicos de la orina^{7,37} no sean tan habitualmente utilizados en el control rutinario de los deportistas, pueden tener interés para: i) controlar las reservas de glucógeno (detectando la presencia de cuerpos cetónicos), ii) valorar posibles estados de acidosis renal, iii) observar el metabolismo proteico, y iv) detectar el balance nitrogenado o estado anabólico; resultando todo ello de gran interés para el dietista-nutricionista o médico deportivo (Tabla 2).

A su vez, las determinaciones de los parámetros de la orina suelen ser utilizados por los comités antidopaje para detectar posibles agentes dopantes⁵⁷.

APLICACIONES PRÁCTICAS

No cabe duda que por la actividad física y cuando se realiza un plan de entrenamiento deportivo de alta intensidad, los parámetros bioquímicos y hematológicos de referencia en el colectivo sedentario y deportivo son diferentes^{3,6,42} (Tabla 3).

Para ofrecer una herramienta al nutricionista deportivo para el control y valoración de la salud y del entrenamiento, se debería proponer el análisis de los parámetros bioquímicos, hematológicos y hormonales, ya que varían mucho según el nivel de actividad física, frecuencia de entrenamiento, carácter del esfuerzo y exigencias competitivas de los deportistas (Tabla 4).

En deportistas de alto nivel, es importante hacer análisis sanguíneos cada 2-3 meses para detectar rápidamente la respuesta biológica al entrenamiento y poder prescribir intervenciones nutricionales⁵⁸. Estas determinaciones habría que realizarlas después de cada periodo de la temporada, periodo preparatorio general, periodo preparatorio específico o periodo competitivo.

CONCLUSIONES

La evaluación de un deportista va encaminada, en primer lugar, a valorar su salud para conocer situaciones que contraindiquen y/o restrinjan el entrenamiento, la competición o posibles riesgos médico-nutricionales que se puedan dar. En este caso los análisis sanguíneos y de orina aportan una información más objetiva sobre el estado del deportista. Para ello, el nutricionista deportivo, como integrante del grupo interdisciplinar que rodea al deportista, debe conocer los valores de referencia de los distintos parámetros sanguíneos para el colectivo deportivo, con el fin de poder prescribir adecuadamente estrategias dietético-nutricionales.

El control bioquímico, hematológico y hormonal debería ser incluido en todos los protocolos utilizados en las consultas de nutrición deportiva, junto a otros, como los recordatorios de 24-72 horas, frecuencia y consumo de alimentos, historia dietética o la valoración antropométrica.

Tabla 3. Valores bioquímicos básicos y hematológicos en la población sedentaria y deportistas de resistencia, para el control de la salud y efectos del entrenamiento. Adaptado de Kratz y colaboradores^{55,56} y Urdampilleta y colaboradores⁵⁷.

Parámetros	Población general	Deportistas de fondo	Interpretación según contextos deportivos
BIOQUIMICA BÁSICA			
Sodio (mmol/L)	135–145	139–146	Variaciones según el estado de hidratación
Potasio (mmol/L)	3,5–5,0	3,7–5,3	Aumento de los niveles con el ejercicio Ae
Magnesio (meq/L)	1,4–2,0	1,1–1,9	Disminución en los deportes de resistencia Ae
Cloro (mmol/L)	100–108	102–110	
Calcio (mg/dL)	8,5–10,5	8,5–9,9	Pequeñas variaciones con el sudor. No significativo.
Fósforo (mg/dL)	2,6–4,5	1,9–3,7	
Dióxido de Carbono (mmol/L)	24–30	27–32	Mayor en deportistas por el aumento de la producción
Glucosa (mg/dL)	70–110	47,4–151,4	Gran variabilidad
Proteínas Totales (g/dL)	6,0–8,0	6,4–7,8	Gran variabilidad
Albumina (g/dL)	3,1–4,3	3,5–4,5	Valores aumentados en deportistas
Ácido Úrico (mg/dL)	3,6–8,5	2,5–7,1	
Globulina (g/dL)	2,6–4,1	2,6–3,6	
Urea (mg/dL)	5–25	8–30	Aumento en el deporte por déficit de glucógeno
Creatinina (mg/dL)	0,6–1,5	0,7–1,3	Depende de la utilización de creatina como ayuda ergogénica. En este caso aumentos por encima de 1,2.
Bilirrubina Directa (mg/dL):	0,0–0,4	0,0–0,4	
Bilirrubina Total (mg/dL):	0,0–1,0	0,0–1,0	
Triglicéridos (mg/dL)	40–150	0–228	En deportes de resistencia Ae suelen estar muy bajos los niveles
Colesterol Total (mg/dL)	<200	138–252	Gran variabilidad según la dieta
Colesterol HDL (mg/dL)	35–45	50–60	En deportistas de resistencia Ae suelen estar más elevados
Colesterol LDL (mg/dL)	120–160	130–159	No variaciones, incluso aumentos en situaciones de gran estrés oxidativo (entrenamientos en altitud...)
ENCIMAS EN EL SUERO			
Fosfatasa Alcalina (U/L)	45–115	36–98	
Alanina Aminotransferasa (ALT o GPT) (U/L)	0–40	10–55	Aumentos en el deporte
Aspartato aminotransferasa (AST o GOT) (U/L)	4–40	10–54	Aumentos en el deporte
Creatina Quinasa (CK) (U/L)	19–245	60–400	Aumentos por la destrucción muscular
HEMOGRAMA COMPLETO			
Recuento leucocitario (× 109/L)	4,5–11	3,7–7,5	Disminución debido al estrés oxidativo y elevaciones del cortisol
Hematocrito (%)	39–49	36–48	Ligera disminución por la expansión sanguínea
Hemoglobina (g/dL)	13–18	13–17	Gran variabilidad
Hematíes (× 106/μL)	4,5–5,3	4,4–5,6	Gran variabilidad
Plaquetas (× 103/μL)	150–350	129–326	Disminución en los deportistas
Volumen corpuscular	81–100	79–96	Pueden detectarse a veces glóbulos rojos más pequeños, ya que la renovación de glóbulos rojos en el deporte es más rápida, por la destrucción generada. Un recuento bajo puede indicar un estado de anemia
Hemoglobina corpuscular media (pg/RBC)	25–32	27–35	No hay muchas modificaciones. En estados de hipoxia puede aumentar.
Concentración Hemoglobina corpuscular media (g/dL)	32–35	31–37	Aumentos en los entrenamientos en hipoxia/altitud.

* Valores expresados con un intervalo de confianza al 95%

† Rangos de referencia para la población general tomados de Kratz y Lewandowski⁵⁶ con excepción de los marcadores cardíacos: mioglobina, creatina quinasa-mioglobina y troponina cardíaca, para los cuales se indican los rangos de referencia de las recomendaciones del fabricante del instrumento.

‡ Rangos de referencia calculados como media ± 1,96 SD.

Tabla 4. Propuesta de parámetros básicos a solicitar al deportista según su nivel de actividad física.

NIVEL-1 Actividad Física Regular y Deporte Recreativo	NIVEL-2 Deporte Amateur de Gran Exigencia	NIVEL-3 Deportista de Alto Rendimiento Deportivo
PARÁMETROS UTILIZADOS		
BIOQUÍMICA GENERAL		
Glucemia	Glucemia	Glucemia
Creatinina	Creatinina	Creatinina
Bilirrubina	Bilirrubina	Bilirrubina
		Uratos (ácido úrico)
		Urea
Colesterol total	Colesterol total	Colesterol total
cHDL	cHDL	cHDL
cLDL	cLDL	cLDL
Triglicéridos	Triglicéridos	Triglicéridos
Pre-albúmina	Pre-albúmina	Proteínas Totales
Albúmina	Albúmina	Pre-albúmina/ Albúmina
Sodio	Sodio	Sodio
Potasio	Potasio	Potasio
	Calcio	Calcio
		Magnesio
		Cloro
		Aminoácidos específicos
ENCIMAS DE SUERO		
GPT	GPT	GPT
GOT	GOT	GOT
GGT	GGT	GGT
	CK	CK
		LDH
METABOLISMO DEL HIERRO		
Hierro sérico	Hierro sérico	Hierro sérico
Ferritina	Ferritina	Ferritina
	Transferrina	Transferrina
	Sat. Transferrina (%)	TIBC
		Sat. Transferrina (%)
HEMATOLOGÍA-MORFOLOGÍA		
Hemograma completo	Hemograma completo	Hemograma completo
HORMONAS*		
	Índice Testosterona / Cortisol	Índice Testosterona / Cortisol
		Testosterona
		Cortisol
		Catecolaminas
ANALÍTICAS DE ORINA		
Densidad	Densidad	Densidad
pH	Acetona	Acetona
	Urea	Urea
	Aclaramiento creatinina	Aclaramiento creatinina
	pH	pH
		3-metilhistidina

BIBLIOGRAFÍA

1. Salve M, Amich S, Prieto S, Casas A. Laboratorio clínico. Bioquímica. 1 ed. Madrid: Interamericana McGraw-Hill; 1994.
2. Urdampilleta A. Valoración fisiológica y bioquímica del deportista de resistencia. EFDeportes.com [revista en internet]. 2013 [citado 11 ene 2014]; 18:181. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd181/valoracion-del-deportista-de-resistencia.htm>
3. Banfi G, Colombini A, Lombardi G, Lubkowska A. Metabolic markers in sports medicine. *Adv Clin Chem*. 2012; 56: 1-54.
4. Degoutte F, Jouanel P, Bègue RJ, Colombier M, Lac G, Pequignot JM, et al. Food restriction, performance, biochemical, psychological, and endocrine changes in judo athletes. *Int J Sports Med*. 2006; 27(1): 9-18.
5. Walsh NP, Gleeson M, Pyne DB, Nieman DC, Dhabhar FS, Shephard RJ, et al. Position statement. Part two: Maintaining immune health. *Exerc Immunol Rev*. 2011; 17: 64-103.
6. Fallon KE. The clinical utility of screening of biochemical parameters in elite athletes: analysis of 100 cases. *Br J Sports Med*. 2008; 42: 334-7.
7. Galvis JC. Importancia del laboratorio en la evaluación del deportista. *Laboratorio Actual*. 2000; 33: 9-11.
8. García JM. Alto Rendimiento: La adaptación y la excelencia deportiva. Ed. Gymnos: Madrid; 2001.
9. García Zapico A. Evolución comparada de los parámetros fisiológicos en triatletas y ciclistas de élite, a lo largo de una temporada [tesis doctoral]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2004.
10. Maynar MM, Olcina GJ, Maynar JI. Valoración Analítica. En: Jiménez Díaz JF, Terrados Cepeda N, Villa vicente G, Manonelles Marqueta P, editores. *Medicina y fisiología del ciclismo Tomo 1.1* ed. Badalona: Nexus Medica Editores; 2009. p. 747-78.
11. Nunes LA, Gandra PG, Alves AA, Kubota LT, de Macedo DV. Adequacies of skin puncture for evaluating biochemical and hematological blood parameters in athletes. *Clin J Sport Med*. 2006; 16: 418-21.
12. Fernández-Tresguerres J. Fisiología endocrina. Madrid: Ed. Eudema. 1989.
13. Petibois C, Cazorla G, Poortmans JR, Deleris G. Biochemical aspects of overtraining in endurance sports: a review. *Sports Med*. 2002; 32: 867-78.
14. Planas Vilà M, Pérez-Portabella Maristany C. Evaluación clínica del estado nutricional. En: Salas-Salvado J, Bonada A, Trallero R, Saló ME. *Nutrición y dietética clínica*. Barcelona: Ediciones Doyma; 2000. p. 69-80.
15. Planas Vilà M, Pérez-Portabella Maristany C, Virgili Casas N. Valoración del estado nutricional en el adulto. En: Gil Hernández A, editores. 2 ed. *Tratado de Nutrición*. Madrid: Panamericana; 2010. p.117-47
16. Urdampilleta, Martínez-Sanz JM, Mielgo-Ayuso J. Anemia ferropénica en el deporte e intervenciones dietético-nutricionales preventivas. *Rev Esp Nutr Hum Diet*. 2013; 17(4): 155-64.
17. Skikne BS. Circulating transferrin receptor assay: coming of age. *Clin Chem*. 1998; 44: 7-9.
18. Mast AE, Blinder MA, Gronowski AM, Chumley C, Scott MG. Clinical utility of the soluble transferrin receptor and comparison with serum ferritin in several populations. *Clin Chem*. 1998; 44: 45-51.
19. Rennie MJ, Tipton KD. Protein and amino acid metabolism during and after exercise and the effects of nutrition. *Annu Rev Nutr*. 2000; 20: 457-83.
20. Jeukendrup A. Posibles vínculos entre la nutrición y el sobreentrenamiento. *PubliCE Standard* [serie en internet]. 2000 [citado 28 Jul 2014]. Disponible en: <http://g-se.com/es/nutricion-deportiva/articulos/posibles-vinculos-entre-la-nutricion-y-el-sobreentrenamiento-820>
21. Alvero-Cruz JR, Cabañas Armesilla MD, Herrero de Lucas A, Martínez L, Moreno C, Porta J, et al. Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de Consenso del Grupo Español de Cineantropometría (GREC) de la Federación Española de Medicina del Deporte (FEMEDE). *AMD*. 2010; 139: 330-344.
22. Córdova-Martínez A. Glucocorticoids and sport's performance. *Rev Clín Esp*. 2006; 206: 382-4.
23. Sun FH, Wong SH, Chen YJ, Huang YJ, Hsieh SS. Effect of glycemic index and fructose content in lunch on substrate utilization during subsequent brisk walking. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011; 36(6): 985-95.
24. Maraki MI, Sidossis LS. The latest on the effect of prior exercise on postprandial lipaemia. *Sports Med*. 2013; 43(6): 463-81.
25. Hamilton MT, Areiqat E, Hamilton DG, Bey L. Plasma triglyceride metabolism in humans and rats during aging and physical inactivity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2001; 11 Suppl: S97-104.
26. Carbayo JAa, González-Moncayo C, Gómez, Carbayo J, Fernández Pardo J. Modificaciones inducidas por el ejercicio físico moderado sobre el colesterol de las subfracciones mayores de las HDL. *Clin Invest Arterioscl*. 2000; 12: 19-25.
27. Lou-Bonafonte JM, Fitó M, Covas MI, Farràs M, Osada J. HDL-related mechanisms of olive oil protection in cardiovascular disease. *Curr Vasc Pharmacol*. 2012; 10(4): 392-409.
28. Ruiz JR, Mesa JL, Mingorance I, Rodríguez-Cuartero A, Castillo MJ. Deportes con alto nivel de estrés físico afectan negativamente al perfil lipídico plasmático. *Rev Esp Cardiol*. 2004; 57(6): 499-506.
29. Knez WL, Coombes JS, Jenkins DG. Ultra-endurance exercise and oxidative damage: implications for cardiovascular health. *Sports Med*. 2006; 36: 429-41.
30. Pincemail J, Lecomte J, Castiau J, Collard E, Vasankari T, Cheramy-Bien J, et al. Evaluation of autoantibodies against oxidized LDL and antioxidant status in top soccer and basketball players after 4 months of competition. *Free Radic Biol Med*. 2000; 28: 559-65.
31. Liu ML, Bergholm R, Mäkimattila S, Lahdenperä S, Valkonen M, Hilden H, et al. A marathon run increases the susceptibility of LDL to oxidation in vitro and modifies plasma antioxidants. *Am J Physiol*. 1999; 276: E1083-91.
32. Mastaloudis A, Leonard SW, Traber MG. Oxidative stress in athletes during extreme endurance exercise. *Free Radic Biol Med*. 2001; 31: 911-22.
33. Fernández JM, Da Silva-Grigoletto ME, Ruano-Ruiz JA, Caballero-Villarraso J, Moreno-Luna R, Túnez-Fiñana I, et al. Fructose modifies the hormonal response and modulates lipid metabolism during aerobic exercise after glucose supplementation. *Clin Sci (Lond)*. 2009; 116: 137-45.
34. Ruiz JR, Mesa LM, Mingorance I, Rodríguez-Cuartero A, Castillo MJ. Deportes con alto grado de estrés físico afectan negativamente al perfil lipídico plasmático. *Rev Esp Cardiol*. 2004; 57: 499-506.
35. González-Calvo G, García-López D. Ejercicio físico y radicales libres, ¿es necesaria una suplementación con antioxidantes? *Rev Int de Medi Cien A F y Deport*. 2012; 12(46): 369-388.
36. Boaraita A. La práctica deportiva mejora el perfil lipídico plasmático, pero ¿a cualquier intensidad?. *Rev Esp Cardiol*. 2004; 57: 495-8.
37. Viru A, Viru M. *Análisis y control del rendimiento deportivo*. 1 ed. Badalona (Barcelona): Paidotribo; 2003.
38. Rivera-Brown AM, Ramirez-Marrero FA, Wilk B, Bar-Or O. Voluntary drinking and hydration in trained, heat-acclimatized girls exercising in a hot and humid climate. *Eur J Appl Physiol*. 2008; 103: 109-16.
39. López-Galarraga AV, Nicot Balons G, Hernández M. Comportamiento del sodio y del potasio en líquidos corporales de corredores de larga distancia. Estudio preliminar. *Congreso Internacional de Medicina Deportiva y Ciencias Aplicadas, La Habana (Cuba)*; 1988.

40. López Novoa JM. Metabolismo hidro-mineral: agua y electrolitos. En: Gil Hernández A, editores. 2 ed. Tratado de Nutrición. Madrid: Panamericana; 2010. p. 825-64.
41. Mena P, Maynar M, Gutierrez JM, Campillo JA. Fisiología metabólica de la Vuelta Ciclista Extremadura. Archivos de Medicina del Deporte. 1988; 19(5): 233-6.
42. Shaskey DJ, Green GA. Sports haematology. Sports Med. 2000; 29 (1): 27-38.
43. Fallon KE. Utility of hematological and iron-related screening in elite athletes. Clin J Sport Med. 2004; 14(3): 145-52.
44. Fujitsuka S, Koike Y, Isozaki A, Nomura Y. Effect of 12 weeks of strenuous physical training on hematological changes. Mil Med. 2005; 170: 590-4.
45. Hamlin MJ, Hellemans J. Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes. J Sports Sci. 2007; 25(4): 431-41.
46. Elliott S. Erythropoiesis-stimulating agents and other methods to enhance oxygen transport. Br J Pharmacol. 2008; 154(3): 529-41.
47. Sigues P, Brito J, Leon-Velarde F. Intermittent work at high altitude: a new epidemiological situation. Inter J Env Health. 2007; 4: 595-607.
48. Hoffman JR, Spstein S, Yarom Y, Zigel L, Einbinder M. Hormonal and biochemical changes in elite basketball players during a 4-week training camp. J Strength Cond Res. 1999; 13: 280-5.
49. Calvé O. Cambios hormonales de la testosterona y cortisol en respuesta al entrenamiento de resistencia en atletismo [tesis doctoral]. La Rioja: Universidad de La Rioja; 2004.
50. Beelen M, Burke LM, Gibala MJ, van Loon L JC. Nutritional strategies to promote postexercise recovery. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2010; 20(6): 515-32.
51. Gleeson M. Biochemical and Immunological Markers of Over-Training. J Sports Sci Med. 2002; 1(2): 31-41.
52. Varlet-Marie E, Maso F, Lac G, Brun JF. Hemorheological disturbances in the overtraining syndrome. Clin Hemorheol Microcirc. 2004; 30: 211-8.
53. Alaphilippe A, Mandigout S, Ratel S, Bonis J, Courteix D, Duclos M. Longitudinal follow-up of biochemical markers of fatigue throughout a sporting season in young elite rugby players. J Strength Cond Res. 2012; 26(12): 3376-84.
54. Serrano MA, Salvador A, González-Bono E, Martínez-Sanchís S, Costa R. Bienestar psicológico, equilibrio hormonal y características de personalidad en el binomio actividad física-salud. Revista de Psicología de la Salud. 2000; 12: 3-14.
55. Suay F, Sanchís C, Salvador A. Marcadores hormonales del síndrome de sobreentrenamiento. Revista de Psicología del Deporte. 1997; 11: 21-39.
56. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. Sports Med. 2005; 35(4): 339-61.
57. Pottgiesser T, Schumacher YO. Biomarker monitoring in sports doping control. Bioanalysis. 2012; 4(10): 1245-53.
58. Urdampilleta A, Martínez-Sanz JM, López-Grueso R. Valoración bioquímica del entrenamiento: herramienta para el dietista-nutricionista deportivo. Rev Esp Nutr Hum Diet. 2013; 17(2): 73-83.