

ANÁLISIS, VALORACIÓN Y MONITORIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO DE ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO

Fernando Gutiérrez

Alicia Canda

M^a Eugenia Heras

Araceli Boraita

Manuel Rabadán

Paz Lillo

Manuela González

Africa López-Illescas

Armando Enrique Pancorbo

Angel Enrique Díaz

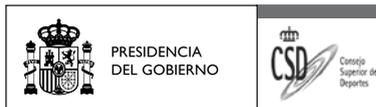
Nieves Palacios

Zigor Montalvo



CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	9
PRÓLOGO	11
1. INTRODUCCIÓN: EL APOYO CIENTÍFICO-TÉCNICO DE LOS CENTROS DE MEDICINA DEL DEPORTE EN EL ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO Fernando Gutiérrez Ortega	15
2. COMPOSICIÓN CORPORAL Y SOMATOTIPO COMO INDICADORES DE PRONÓSTICO DE RENDIMIENTO DEPORTIVO Alicia Canda Moreno	29
3. IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS CARDIOVASCULARES EN EL CONTROL DEL ENTRENAMIENTO Y LA SALUD DEL DEPORTISTA M^a Eugenia Heras Gómez / Araceli Boraita Pérez	53
4. EL PROBLEMA DE LA MUERTE SÚBITA EN EL DEPORTE Araceli Boraita Pérez / M^a Eugenia Heras Gómez	75
5. LA ERGOESPIROMETRÍA EN EL ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO Manuel Rabadán Ruiz	91
6. LESIONES DEPORTIVAS OBSERVADAS EN LOS DEPORTISTAS DE ALTA COMPETICIÓN EN EL CENTRO DE MEDICINA DEL DEPORTE DEL CSD Paz Lillo Jiménez	139
7. DIAGNÓSTICO POR LA IMAGEN DE LA LESIÓN DEPORTIVA POR SOBREUSO Manuela González Santander	161
8. LA READAPTACIÓN FÍSICA: REHABILITACIÓN Y VALORACIÓN FUNCIONAL MOTRIZ EN DEPORTISTAS DE ALTO RENDIMIENTO África López-Illescas Ruiz	181
9. DIAGNÓSTICO Y DESARROLLO DE LAS ÁREAS FUNCIONALES DE INTENSIDAD DEL ENTRENAMIENTO. INTERRELACIÓN CON LOS ESTUDIOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO Armando Enrique Pancorbo Sandoval	207
10. VALORACIÓN MÉDICO-DEPORTIVA DE LOS DEPORTISTAS ESPAÑOLES DE ALTO NIVEL. PROGRAMA RENDIMIENTO Y SALUD 2012 Armando Enrique Pancorbo Sandoval / Fernando Gutiérrez Ortega	233
11. CRITERIOS DE APLICACIÓN DEL CONTROL DE LACTATO EN LOS TESTS DE CAMPO Angel Enrique Díaz Martínez	271
12. ALIMENTACIÓN, EJERCICIO FÍSICO Y DEPORTE Nieves Palacios Gil-Antuñano / Zigor Montalvo Zenarruzabeitia	297
13. ERGOGENIA. SUPLEMENTOS DIETÉTICOS PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO Nieves Palacios Gil-Antuñano / Zigor Montalvo Zenarruzabeitia	317
14. PREVENCIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE LA FATIGA RESIDUAL Y DEL SOBREENTRENAMIENTO DEPORTIVO. UNA NUEVA DEFINICIÓN: FATIGA SUBAGUDA SEVERA Armando Enrique Pancorbo Sandoval	339



© CONSEJO SUPERIOR DE DEPORTES
Subdirección General de Deporte y Salud
Servicio de Documentación y Publicaciones
c/Martín Fierro, s/n. 28040 MADRID
www.csd.gob.es

Diciembre, 2010

Catálogo de publicaciones de la AGE:
<http://publicacionesoficiales.boe.es>

Derechos reservados conformes a la ley
Impreso y hecho en España / Printed and made in Spain

Coordinación editorial: Enrique Lizalde

Diseño editorial: Jaime Narváez
Impresión: Imprenta Nacional del BOE

ISBN:978-84-7949-208-3
ISSN: 2173-8963
NIPO: 008-10-024-5
Depósito legal (impreso): M-35278-1995

Papel Print Speed: fabricado con pastas ECF libres de cloro.

ANÁLISIS, VALORACIÓN Y MONITORIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO DE ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO

**Fernando Gutiérrez
Alicia Canda
M^a Eugenia Heras
Araceli Boraita
Manuel Rabadán
Paz Lillo
Manuela González
Africa López-Illescas
Armando Enrique Pancorbo
Angel Enrique Díaz
Nieves Palacios
Zigor Montalvo**

RESUMEN

Una acertada valoración clínica y funcional, a través de reconocimientos médico-deportivos, estudios de valoración funcional en los Centros de Medicina del Deporte y aplicación puntual de tests de campo a lo largo de la temporada deportiva, es la mejor forma de lograr un buen control de la salud y del rendimiento del deportista.

En esta publicación se aporta información científico-técnica dirigida tanto a los servicios médicos federativos, como al colectivo de técnicos deportivos, sobre la actualidad e importancia de la valoración funcional y monitorización del entrenamiento y de la salud de los deportistas de alto nivel.

Desde el Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes (CSD), basándose en la metodología del entrenamiento deportivo y su relación con la medicina y ciencias aplicadas al deporte, se ha propiciado una sistematización del análisis, valoración y monitorización en el deporte del alto nivel, trabajando en equipo con otras estructuras técnicas del propio CSD y con los servicios médicos y técnicos de las federaciones deportivas nacionales. Los resultados del trabajo, estudio e investigaciones de las unidades del Centro de Medicina del Deporte del CSD (Cineantropometría; Fisiología del esfuerzo; Cardiología; Medicina, Nutrición y Endocrinología; Aparato locomotor; Imagen y Dinámica postural; Laboratorio clínico; Readaptación física y Fisioterapia), componen la base de los contenidos de esta publicación.

Palabras clave: MEDICINA DEL DEPORTE, DEPORTE ALTO NIVEL, RENDIMIENTO DEPORTIVO, VALORACIÓN FUNCIONAL, RECONOCIMIENTO MÉDICO, TESTS DE CAMPO, LACTATO, ECOCARDIOGRAFÍA, MUERTE SÚBITA, SOBREENTRENAMIENTO, ERGOESPIROMETRÍA, ERGOGENIA, COMPOSICIÓN CORPORAL, NUTRICIÓN Y DEPORTE, LESIONES DEPORTIVAS, DIAGNÓSTICO POR LA IMAGEN, READAPTACIÓN FÍSICA.

ABSTRACT

A suitable clinical and functional assessment, by means of sports-medical examinations, studies of functional assessment in Sports Medicine Centres and the occasional administration of field tests during the sports season, are the best ways to successfully monitor the health and performance of sports men and women.

This publication presents scientific-technical information aimed both at federative medical services and sports technical professionals, on the current importance of functional assessments and monitoring of training and health in elite sports men and women.

The Sports Medicine Centre of the High Council for Sport of Spain (CSD), on the basis of the methodology used in sports training and its relation with medicine and science applied to sports, has encouraged the systematization of analyses, assessment and monitoring in elite sport, working in a team effort with other technical structures of the CSD and with the medical services and technicians of the national sports federations.

The results of the work, study and research carried out by the different units of the CSD Sports Medicine Centre (Kinanthropometry; Exercise Physiology; Cardiology; Medicine, Nutrition and Endocrinology; Locomotor Apparatus; Imaging and Postural Dynamics; Clinical Laboratory; Physical Rehabilitation and Physiotherapy), form the basis of the contents of this publication.

Key words: SPORTS MEDICINE, ELITE SPORT, SPORTS PERFORMANCE, FUNCTIONAL ASSESSMENT, MEDICAL EXAMINATION, FIELD TESTS, LACTATE, ECHOCARDIOGRAPHY, SUDDEN DEATH, OVERTRAINING, ERGOSPIROMETRY, ERGOGENICS, BODY COMPOSITION, NUTRITION AND SPORT, SPORTS INJURIES, IMAGE DIAGNOSIS, PHYSICAL REHABILITATION.

PRÓLOGO

JOSÉ LUIS TERREROS BLANCO

Subdirector General de Deporte y Salud
Consejo Superior de Deportes

Este nuevo título de la Colección ICD, de Investigación en Ciencias del Deporte, está dedicado a la Medicina del Deporte, más concretamente a la valoración funcional y monitorización del alto rendimiento deportivo. En él queremos recoger y ofrecer a los especialistas la experiencia de 22 años de trabajo del Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes.

A lo largo de estos años, el Centro de Medicina del Deporte se ha ocupado de la salud y la mejora del rendimiento de nuestros deportistas más prestigiosos. Más recientemente y coincidiendo con esta época de oro del deporte español de competición, el Centro de Medicina del Deporte ha reorientado su trabajo: enfocándolo en el progreso de los futuros deportistas olímpicos españoles –así ha nacido el Programa “Rendimiento y Salud - Londres 2012”–, con avances en Proyectos de Investigación del propio Centro y con Programas Piloto que permiten una transferencia directa de la investigación al terreno del apoyo médico-deportivo.

El Consejo Superior de Deportes está realizando un gran esfuerzo para poner a disposición de nuestros olímpicos el apoyo científico-técnico más avanzado. Este programa se basa en la individualización de los procesos de seguimiento, con una respuesta muy ágil y rápida, en un esfuerzo integrador capaz de poner en un lenguaje al alcance de los técnicos y entrenadores consejos individuales para cada deportista e informes de grupo, y finalmente, en un trabajo directo y continuo, codo con codo, con nuestros técnicos de alta competición, que alcanzan un relevante protagonismo en el proceso, y con los responsables federativos.

Pero no queremos que ese esfuerzo se quede ahí, en el apoyo cotidiano al entrenamiento deportivo desde los laboratorios, sino que queremos que el conocimiento acumulado en la atención a deportistas durante tantos años se difunda y sirva para que otros se apoyen en él y alcancen mejores resultados. Por todo ello, y como médico del deporte, me enorgullezco de presentar este magnífico trabajo de mis compañeros en el Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes, donde exponen estrategias y métodos de trabajo en nuestra especialidad, especialmente en lo relativo a la valoración funcional para su aplicación al entrenamiento deportivo.

Una lectura cuidadosa de este libro será de gran utilidad al especialista que trabaja en el deporte de alto nivel –médicos del deporte, técnicos y entrenadores, etc.- que quiere mantenerse al día, pero igualmente puede interesar a otras personas que desean conocer como estructuran su entrenamiento los grandes deportistas españoles, al personal sanitario de otras especialidades o al dedicado a la atención primaria, que desean avanzar en sus conocimientos médico-deportivos.

Por ello quiero felicitar a los autores por su contribución y animar a todos a su lectura que, a pesar de contener un enorme volumen de información técnica, seguro que será amena e interesante y de la que todos pueden sacar provecho para conocer mejor las técnicas de valoración en Medicina del Deporte.

1. INTRODUCCIÓN: EL APOYO CIENTÍFICO- TÉCNICO DE LOS CENTROS DE MEDICINA DEL DEPORTE EN EL ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO

Una acertada valoración clínica y funcional, a través de reconocimientos médico-deportivos, estudios de valoración funcional en los Centros de Medicina del Deporte y aplicación puntual de tests de campo a lo largo de la temporada deportiva, es la mejor forma de lograr un buen control de la salud y del rendimiento del deportista.

Sin una buena valoración funcional del entrenamiento y del estado de salud de los deportistas, puede resultar difícil predecir las capacidades funcionales y morfológicas a lo largo de la temporada, impidiendo la individualización del entrenamiento y de los periodos de recuperación. En ocasiones, se observa con preocupación una acumulación de fatiga residual del entrenamiento durante varios microciclos o mesociclos, y que no se constata con un diagnóstico claro. A la carencia de diagnóstico, suele devenir un incremento de las lesiones músculo-esqueléticas y/o la pérdida de las capacidades funcionales de los deportistas.

Como principales causas de esta carencia de diagnóstico podemos señalar:

- Falta de programación de los estudios a lo largo de la temporada. Existe el criterio generalizado de que “un reconocimiento médico al año es suficiente, además puede ser realizado en cualquier etapa del entrenamiento”.
- Insuficiente aprovechamiento de los resultados de los estudios médicos realizados, para la individualización y modificación de los entrenamientos y del sistema de recuperación en los deportistas, en caso de ser necesario.
- Limitaciones en cuanto a recursos humanos en los servicios médicos de las federaciones deportivas, lo que no facilita la valoración funcional del entrenamiento, la prevención de lesiones y el trabajo educativo con los deportistas.
- La falta, en algunas federaciones deportivas, de un verdadero trabajo en equipo: conformado por la dirección técnica, colectivo de entrenadores, servicios médicos e investigadores que trabajen en el diseño y control de la temporada y de sus macrociclos.

Sin duda alguna, el deporte de alta competición conduce al estrés fisiológico y psicológico, que en muchos casos acaba en problemas

de salud y de rendimiento deportivo. Con una adecuada estrategia de valoración funcional del entrenamiento y del estado de salud durante la vida del deportista, la alta competición es mucho menos perjudicial; además esta estrategia permite modular e individualizar el entrenamiento del deportista y de sus mecanismos de recuperación de una forma personalizada y a lo largo de toda la temporada. Desde luego esto hace mucho más humano el deporte de alta competición, lo que conlleva una disminución de los problemas de salud del deportista, con un mejor rendimiento deportivo y mayor longevidad, deportiva y de calidad de vida.

En esta línea de trabajo, en el Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes (CSD), hemos establecido un nuevo programa de control y seguimiento para colaborar en la mejora del alto rendimiento deportivo y para lograr un buen control del estado de salud de nuestros deportistas, basándonos en la metodología del entrenamiento deportivo y su relación con la medicina y ciencias aplicadas a la alta competición.

Para que el nuevo programa sea eficaz es necesario que las federaciones deportivas nacionales se impliquen de forma directa, que permita aunar los esfuerzos en la obtención de buenos resultados deportivos. Tiene que existir una mejor y mayor comunicación, una intervención bidireccional entre los profesionales de los Centros de Medicina del Deporte y el colectivo técnico de las federaciones deportivas. La integración de los recursos de los Centros de Medicina del Deporte y de los resultados obtenidos por parte de los entrenadores y técnicos deportivos, será una buena estrategia para trabajar eficazmente con los deportistas, sin que éstos vean afectada su salud.

En este contexto se establece una nueva forma de trabajo implicando más a los responsables federativos, tanto técnicos como sanitarios, haciéndoles partícipes de todo el proceso de valoración de la capacidad funcional y de la salud. Los técnicos y médicos federativos tienen que ayudar a diseñar protocolos de estudios específicos, adaptados a las necesidades peculiares de cada especialidad/modalidad deportiva. En este aspecto se busca optimizar los recursos, integrando los resultados en los planes de entrenamiento de cada deportista.

El Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes viene impulsando esta línea de actuación, ha propiciado una sistematización de los reconocimientos médicos y de los tests de campo, trabajando en equipo con otras estructuras técnicas del propio CSD y con los servicios médicos y técnicos de las federaciones deportivas nacionales.

Para una mejor comprensión del contenido de los diferentes capítulos, en los que se estructura esta publicación, a continuación se presenta una breve descripción de los objetivos y funciones que tienen las diversas unidades que componen el Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes. Los resultados del trabajo, estudio e investigaciones de estas unidades componen la base sobre la que se desarrollan los contenidos.

Unidad de Cineantropometría

La cineantropometría es el área que mide al hombre en relación con el movimiento. Tiene como finalidad el estudio de la estructura y morfología corporal, cuantificando tamaño, forma, proporción y composición del ser humano, relacionando la estructura con la función.

Objetivos:

- Estudio de la composición corporal, para descartar problemas de salud como obesidad y malnutrición.
- Determinación de los componentes del peso corporal de cada deportista y posterior valoración en relación con los requerimientos de la actividad física que práctica.
- Asesoramiento sobre el peso que deben alcanzar aquellos deportistas que compiten por categorías de peso.
- Planificación y control de los cambios de peso a lo largo de toda la temporada.
- Seguimiento del deportista sometido a régimen dietético, ya sea para reducir o para aumentar el peso corporal.
- Estudio del perfil de distribución de la grasa subcutánea.
- Monitorización de los cambios morfológicos y de composición corporal en los deportistas jóvenes, durante el crecimiento, desarrollo y maduración.
- Valoración del perfil de desarrollo muscular, al nivel de los diferentes segmentos.

- Descripción morfológica del deportista mediante el análisis del somatotipo.
- Elaboración del perfil de proporcionalidad individual y por modalidad deportiva.
- Valoración de la flexibilidad.
- Estimación del agua corporal total y por segmentos corporales.
- Obtención de los valores de referencia dentro de cada deporte, con el fin de obtener el perfil antropométrico característico de cada modalidad deportiva, aplicable en estudios valorativos de otras poblaciones y en la detección de talentos deportivos.

Unidad de Fisiología del esfuerzo

El ámbito de trabajo de esta Unidad está orientado tanto a la valoración funcional del deportista, en relación con el máximo esfuerzo deportivo, como a velar por su estado de salud.

Objetivos:

Relacionados con la valoración funcional, planificación y optimización del entrenamiento:

- Valoración objetiva de la capacidad funcional del deportista en relación con la actividad física realizada.
- Orientación sobre prescripción de cargas de trabajo, colaborando con los entrenadores en la planificación del entrenamiento.
- Ajuste del ritmo de competición en deportistas que preparan una prueba de larga duración.
- Valoración de un inesperado bajo rendimiento.
- Control y valoración de la adaptación fisiológica al entrenamiento.

- Valoración de la evolución del deportista en distintos momentos de la temporada.
- Definición del perfil fisiológico y elaboración de valores de referencia para los diferentes deportes.
- Elaboración de protocolos especiales para las diferentes especialidades deportivas, intentando reproducir el gesto biomecánico específico de cada modalidad.

Relacionados con la tutela de la salud del deportista:

- Estudiar la adaptación al ejercicio de los diferentes aparatos y sistemas del organismo.
- Valoración de las respuestas al ejercicio fisiológicas/patológicas.
- Objetivar procesos patológicos que no aparecen en reposo.
- Valoración de deportistas con sospecha de asma inducido por el esfuerzo.

En resumen, los objetivos de las pruebas de valoración funcional son el apoyo científico-médico al proceso del entrenamiento con el objetivo final de optimizar el rendimiento deportivo y velar por el adecuado estado de salud de los deportistas mediante la prevención y el diagnóstico precoz.

Unidad de Cardiología

El reconocimiento cardiológico del deportista tiene como finalidad descubrir cualquier enfermedad o patología cardíaca que pueda constituir un riesgo vital para el deportista o represente una contraindicación médica absoluta, relativa o temporal para la práctica de actividad física.

Objetivos:

- Valoración morfológica y funcional del sistema cardiovascular del deportista, en reposo y ejercicio, con el fin de descartar cualquier patología cardiovascular y en concreto aquellas que aparecen como causas más frecuentes de muerte súbita en deportistas.

- Valoración de aquellos deportistas con sospecha de cardiopatía o con cardiopatía diagnosticada, con la finalidad de establecer tanto la aptitud o idoneidad para la práctica de cada especialidad deportiva y nivel de competición, así como las pautas de tratamiento y seguimiento precisas.
- Estudiar posibles signos de fatiga cardíaca y, por tanto, colaborar en el diagnóstico de un síndrome de sobreentrenamiento.
- Valoración y seguimiento de las adaptaciones cardiovasculares al entrenamiento.
- Valoración de las alteraciones electrocardiográficas y trastornos del ritmo cardíaco, y su posible relación con el entrenamiento.
- Elaboración de valores de referencia de los distintos parámetros cardiológicos, en los deportistas de alto nivel de las diferentes especialidades.

Unidad de Medicina, Nutrición y Endocrinología

Los deportistas no solo están expuestos a todos los problemas médicos normales dados en la población general, sino que tienen que hacer frente a otros muchos específicos como resultado de su entrenamiento. En esta unidad se implementa también el consejo dietético nutricional, esencial para mantener una alimentación adecuada en general, y para corregir desviaciones tanto por exceso como por defecto.

Objetivos:

- Valoración médica global de los deportistas que acuden por primera vez al Centro de Medicina del Deporte: historia clínica, exploración, valoración analítica y clínica, tratamiento si lo precisan, y elaboración de informe médico.
- Revisiones periódicas y seguimiento médico del deportista.
- Estudio y corrección de los hábitos alimenticios de los deportistas.
- Programas de educación sobre los hábitos correctos de

alimentación para los deportistas de la residencia “Joaquín Blume” de Madrid, y a los de las federaciones que lo soliciten.

- Elaboración y control de las dietas de la residencia “Joaquín Blume” de Madrid.
- Elaboración de dietas especiales a los deportistas que lo requieran.
- Elaboración de programas de ayudas ergogénicas para los deportistas o federaciones que lo soliciten.
- Tratamiento y seguimiento de los deportistas con problemas de peso o desórdenes en la alimentación.
- Estudio hormonal de las deportistas que lo requieran. Seguimiento y tratamiento de las deportistas con alteraciones del ciclo menstrual.
- Servicio de referencia en casos médicos específicos.
- Predicción de talla.

Unidad de Laboratorio Clínico

Realiza los análisis bioquímicos, hematológicos, hormonales, análisis de ácido láctico, etc. en las muestras sanguíneas y urinarias obtenidas de los deportistas, para control de la salud y la monitorización del entrenamiento.

Objetivos:

- Dentro de las técnicas que se realizan en el laboratorio clínico hay parámetros que son de utilidad exclusivamente clínica (seguimiento médico de salud), otros de utilidad clínica y deportiva (valoración de la salud y del entrenamiento) y finalmente otros de uso exclusivamente deportivo, que permiten hacer un seguimiento y valoración del entrenamiento y modificarlo si fuera necesario.

Para lograr tales objetivos el laboratorio clínico dispone de un amplio catálogo de pruebas a disposición de los médicos de las federaciones

nacionales y de los deportistas de alto nivel. Algunas de ellas se engloban dentro del reconocimiento completo, que se realiza a los deportistas, mientras que otras son pedidas individualmente al laboratorio clínico y que determinan perfiles específicos.

Unidad de Aparato Locomotor

Tiene como finalidad el reconocimiento médico-deportivo desde el punto de vista del sistema osteoarticular, así como el diagnóstico y tratamiento de lesiones deportivas, contando con la ecografía músculo-esquelética como técnica diagnóstica específica de apoyo.

Objetivos:

- Valoración morfológica y funcional de los componentes del sistema osteoarticular.
- Valoración de la repercusión que sobre el sistema osteoarticular ejerce el entrenamiento de alto nivel (patologías por sobrecarga).
- Valoración de la patología específica de cada especialidad deportiva sobre el aparato locomotor.
- Valoración y tratamiento de la lesión deportiva.
- Prescripción de pautas de tratamiento especializado para la reincorporación precoz a la práctica deportiva.
- Elaboración de recomendaciones para practicar deporte de alto rendimiento con el mínimo de sobrecarga osteoarticular.
- Aplicación de la ecografía músculo-esquelética como técnica diagnóstica específica de las exploraciones del aparato locomotor.

Unidad de Readaptación Física y Fisioterapia

La Readaptación Física tiene como finalidad la valoración y la recuperación integral de las lesiones deportivas, hasta que el deportista vuelva a la actividad del nivel previo. Asimismo, desarrolla programas de prevención de estas lesiones, mediante el análisis del balance muscular de los deportistas.

Objetivos:

Asistencia y recuperación del deportista lesionado:

- Asistencia médica especializada al deportista.
- Elaboración y aplicación de programas de readaptación física en el tratamiento de los deportistas lesionados y su rápida incorporación al entrenamiento.
- Sección de Fisioterapia deportiva proporciona al deportista de alto nivel, la posibilidad de recibir un tratamiento especializado en la recuperación de lesiones o post-cirugía.

Prevención de lesiones deportivas.

- Valoración funcional de la lesión deportiva mediante la batería de pruebas funcionales, con la doble finalidad de prescribir el programa de tratamiento e indicar la aptitud para la práctica de cada especialidad deportiva y nivel de competición.
- Elaboración y aplicación de programas de prevención de lesiones en deportistas según cada especialidad deportiva y nivel de competición.

Unidad de Imagen y Dinámica postural

La Unidad de Imagen y Dinámica Postural tiene una doble finalidad: por un lado, la realización, interpretación y gestión de las pruebas diagnósticas basadas en la imagen, imprescindibles para un adecuado diagnóstico de la patología asociada a la práctica deportiva; y por otro lado, la valoración del comportamiento dinámico del aparato locomotor con el fin de prevenir y tratar las alteraciones anatómicas y funcionales principalmente de columna vertebral y miembros inferiores que pueden incidir en el apoyo, la marcha o el gesto deportivo, con la ayuda de sistemas informatizados de análisis de presiones plantares.

Objetivos:

- Realización e interpretación de las pruebas diagnósticas complementarias de imagen ante cualquier patología aguda y/o crónica surgida de la práctica deportiva, permitiendo la elaboración de un diagnóstico precoz y preciso.

- Aplicación de la radiología convencional, fundamentalmente, en la valoración del aparato locomotor y cardiovascular de forma específica.
- Aplicación de la ecografía músculo-esquelética en el diagnóstico y valoración de la patología deportiva.
- Gestión y coordinación de las pruebas de diagnóstico por imagen de alta resolución (resonancia magnética, tomografía axial computerizada, etc.) realizadas en centros concertados.
- Análisis, valoración y prevención de patologías de columna vertebral y miembros inferiores a través del estudio del comportamiento dinámico de la postura, el apoyo, la marcha o el gesto deportivo mediante un estudio morfo-articular y con la ayuda de sistemas informatizados específicos de análisis de presiones plantares.
- Análisis cuantificado de la dinámica postural mediante plataformas y plantillas instrumentadas de alta sensibilidad.
- Elaboración de programas de reeducación postural y funcional con control objetivo de resultados.
- Diseño y verificación de plantillas de descarga, compensación y/o corrección de patologías del apoyo plantar.
- Creación y desarrollo de un archivo de imagen característico del deporte de alta competición.
- Investigación de la acción de la actividad física sobre el organismo a través de la observación objetiva de los hallazgos que aporta la imagen.

Este volumen de la colección ICD, de Investigación en Ciencias del Deporte, pretende aportar una información actualizada y de referencia sobre lo que los Centros de Medicina del Deporte -a través de sus distintas unidades-, pueden proporcionar como apoyo científico-técnico al deporte de alto rendimiento deportivo.

En este sentido, los objetivos propuestos para esta publicación son:

- Ofrecer información científica a los servicios médicos federativos y al colectivo de técnicos deportivos, sobre la actualidad e importancia de la valoración funcional y monitorización del entrenamiento y de la salud de los deportistas de alto nivel.
 - Ofrecer evidencias científicas sobre la incidencia y utilidad del apoyo médico-científico para la salud y el rendimiento en el deporte.
 - Contribuir con el alto rendimiento deportivo, al tiempo que se logra un buen control de la salud de los deportistas españoles.
-

2. COMPOSICIÓN CORPORAL Y SOMATOTIPO COMO INDICADORES DE PRONÓSTICO DE RENDIMIENTO DEPORTIVO

Entre los factores que influyen en el rendimiento deportivo figuran: fisiológicos, biomecánicos, psicológicos, técnicos y morfológicos. Estos últimos vienen en parte determinados por la carga genética y por otro por la adaptación al ambiente, salud, dieta y entrenamiento. Un gen puede influir en la manifestación de muchos caracteres y un carácter puede estar determinado por varios genes. También en los procesos de adaptación existe un mecanismo específico controlado por instrucciones genéticas. Los estudios realizados en gemelos demuestran que algunas características como la estatura, están altamente sujetas al control hereditario; mientras que otras, como por ejemplo el desarrollo muscular o el peso corporal, tienen una mayor capacidad de adaptación.

El área de la Medicina del Deporte que va a estudiar la morfología del deportista es la Antropometría o también denominada Cineantropometría. El término deriva de las raíces griegas: “Kinein”, moverse; “Anthropos”, hombre; y “Metrein”, medir. Por tanto, su definición etimológica sería la medición del hombre en movimiento, relacionando la forma con su función. La definición más extendida es la de Ross de 1978: “La Cineantropometría es el estudio del: tamaño, forma, proporcionalidad, composición, maduración biológica, y función corporal; con objeto de entender el proceso de crecimiento, el ejercicio y el rendimiento deportivo, y la nutrición.”

Se denomina “optimización morfológica” a la obtención del perfil antropométrico ideal para la modalidad deportiva practicada. Es decir, según los requerimientos, sobrecarga, gesto biomecánico implicado, duración de la prueba o competición, características técnicas y reglas de juego existirá un tamaño, forma, composición y proporcionalidad corporal idóneas que favorezcan y aumenten el rendimiento deportivo. Por lo que, a la alta competición llegarán aquellos deportistas, que por una selección natural y adaptación a las demandas han triunfado a lo largo de su carrera deportiva.

Dentro del campo de la Cineantropometría nos vamos a centrar principalmente en la composición corporal y en el somatotipo. Entendemos por el estudio de la composición corporal la cuantificación de los componentes principales de la masa corporal, su distribución y determinación de los factores que le influyen como la edad, sexo y nutrición. Desde el punto de vista del rendimiento, los componentes del peso de mayor relevancia son la masa grasa y masa muscular.

La masa grasa se estudia mediante el perfil de pliegues cutáneos que informan sobre la distribución del panículo adiposo, el sumatorio de pliegues cutáneos que representan a la grasa subcutánea total y por la estimación de la grasa total obtenida por ecuaciones de regresión. Para la valoración de la masa muscular medimos los perímetros corporales a diferentes niveles, calculamos las áreas musculares transversales y estimamos por ecuaciones de regresión la masa muscular y/o la masa magra total. También son útiles los índices de masa magra o masa activa.

El somatotipo es un descriptor del físico en su totalidad, en términos de forma y composición. Es independiente de la edad, tamaño y sexo. Define la constitución morfológica de un individuo mediante tres cifras consecutivas, siempre en el mismo orden, que cuantifican los tres componentes denominados: endomórfico, mesomórfico y ectomórfico. El primer componente o endomorfismo representa la adiposidad relativa, el segundo componente o mesomorfismo, representa el desarrollo músculo-esquelético y el tercer componente o ectomorfismo informa sobre la linealidad relativa.

2.1 Aplicaciones en medicina del deporte

2.1.1 Composición Corporal

El estudio de la composición corporal proporciona una información muy valiosa dentro de la valoración funcional del deportista. El peso corporal y su composición están relacionados con el éxito deportivo, siendo necesario conseguir los óptimos para maximizar el rendimiento. Podemos esquematizar las aplicaciones prácticas de este estudio en:

- Determinación de los componentes del peso corporal de cada deportista y posterior valoración en relación con los requerimientos de la actividad física que practica

La combinación óptima de peso graso y peso libre de grasa (peso magro) para cada modalidad no se conoce, y nos basamos en las referencias derivadas de los deportistas de "élite". Los deportes que exigen correr, saltar, es decir, trasladarse en contra de la gravedad, se beneficiarán de porcentajes de grasa corporal bajos, ya que la grasa actúa como un peso inerte y aumenta el coste energético de la actividad. Por otro lado, aquellos deportes donde se necesite fundamentalmente potencia y fuerza deberán desarrollar una mayor masa muscular.

Dentro del estudio de la composición corporal, podemos realizar la estrategia de De Rose y Guimaraes, fraccionando el peso corporal en cuatro componentes: graso, óseo, residual y muscular. Según estas ecuaciones de predicción los valores medios de los componentes del peso corporal de la muestra deportista española son los que figuran en la *Tabla 1*. Los valores presentados están basados en una muestra de 406 mujeres y 1056 varones españoles. El porcentaje de grasa y porcentaje muscular de diferentes modalidades deportivas, por el mismo método citado anteriormente lo mostramos en la *Tabla 2*.

Tabla 1. Modelo tetracompartimental (De Rose y Guimaraes).

PORCENTAJES (%)	MUJER	VARÓN
Grasa	17,1	11,3
Magro	82,9	88,7
- Óseo	16,8	17,2
- Residual	20,9	24,1
- Muscular	45,2	47,4

Tabla 2. Porcentajes de grasa y muscular de diferentes modalidades deportivas.

	MARATÓN	VELOCIDAD	PRUEBAS COMBINADAS	NATACIÓN	PIRAGÜISMO	TIRO OLÍMPICO
% grasa						
Varón	9,5	9,9	11	11,3	10,8	17,5
Mujer	13,3	14,9	15,4	18,8	15,3	22,6
% muscular						
Varón	47,7	48,5	48,3	47,7	48,9	43,9
Mujer	47,4	46,6	46,8	45,8	46,6	39,1

Los percentiles nos describen el rango de variabilidad dentro de la población deportista y nos sirven para fijar la valoración. En las *Tablas 3* y *4* se muestran los percentiles del porcentaje de grasa. Las ecuaciones de predicción presentadas son la de Yuhasz, las llamadas ecuaciones generalizadas que pueden aplicarse a cualquier población: Durin-Womersley (1974) y Jackson-Pollock (1985) y también específicas, como la de Whithers (1978) para población deportista.

Tabla 3. Percentiles y valoración de la grasa corporal en la población deportista femenina.

MUESTRA FEMENINA			PORCENTAJE DE GRASA			
Percentil	Rango	Valoración	Y	D-W	J-P	W
3 – 15	Muy bajo	Excelente	12,2 – 13	13,7 – 17	10,9 – 12,2	8,7 – 12
20 – 30	Bajo		13,8 – 14,6	18 – 19,7	12,7 – 13,8	13 – 14,8
35 – 45	Medio bajo	Bueno	15 – 15,8	20,5 – 21,9	14,4 – 15,4	15,4 – 16,6
50 – 60	Medio		16,2 – 17	22,4 – 23,5	16 – 17	17 – 18
65 – 75	Medio alto	Aceptable	17,7 – 18,7	24,1 – 26,1	18 – 19,3	19 – 20,4
80 – 85	Límite alto		19,7 – 20,8	27 – 28,2	20 – 21,5	21,9 – 23
90 – 95	Alto	Límite superior	22,5 – 25	29,5 – 32,1	23,8 – 26,5	24 – 27
97	Muy alto		28	33,8	28,5	28,9

Y: Yuhasz; D-W: Durin-Womersley, 1974; J-P: Jackson-Pollock, 1985; W: Whithers, 1978

Tabla 4. Percentiles y valoración de la grasa corporal en la población deportista masculina.

MUESTRA MASCULINA			PORCENTAJE DE GRASA			
Percentil	Rango	Valoración	Y	D-W	J-P	W
3 – 15	Muy bajo	Excelente	8,8 – 9,3	7,2 – 9,3	4,4 – 5,5	5,9 – 6,8
20 – 30	Bajo		9,5 – 9,8	9,8 – 10,7	5,8 – 6,3	7,1 – 7,6
35 – 45	Medio bajo	Bueno	10 – 10,2	11,2 – 11,9	6,6 – 7,3	7,9 – 8,4
50 – 60	Medio		10,4 – 10,9	12,4 – 13,5	7,6 – 8,3	8,7 – 9,5
65 – 75	Medio alto	Aceptable	11,1 – 11,9	14,1 – 15,4	8,7 – 9,9	10 – 11, 1
80 – 85	Límite alto		12,5 – 13,2	16,2 – 17,4	10,8 – 11,8	12 – 13,2
90 – 95	Alto	Límite superior	14,8 – 17,3	18,8 – 21,5	13,4 – 16,4	15,3 – 18,8
97	Muy alto		19	23,6	19,6	21,6

Y:Yuhasz; D-W: Durnin-Womersley, 1974; J-P: Jackson-Pollock, 1985; W: Withers, 1978

Puede comprobarse el diferente rango obtenido en los porcentajes de grasa según el método utilizado. Tanto en el sexo masculino como en el femenino, el valor medio de grasa relativa más alto se obtiene con la F. de Durnin-Womersley, y el más bajo por la F. de Jackson-Pollock. El valor individual de porcentaje de grasa más bajo estimado en varones fue de 3,6 % por el método de Jackson-Pollock, perteneciente a un judoka de la categoría de menos de 66 Kg. de peso; y en mujeres de 5,4% por el método de Withers, correspondiente a una fondista. El valor más alto de porcentaje de grasa obtenido en varones fue de 49,1% por el método de Withers, perteneciente a un tirador olímpico; y en mujeres de 39,2 % por el método de Durnin-Womersley obtenido por una judoka de la categoría de más de 78 Kg. de peso.

Si situamos las modalidades deportivas según su valor medio en los respectivos percentiles (Tabla 5), podemos constatar cómo las modalidades predominantemente de fondo y las de gimnasia están en el rango más bajo, seguidos también de las pruebas que requieren además de capacidad aeróbica, velocidad, saltar contra la gravedad o bajo peso corporal. En los rangos altos, están los deportes en los que la composición corporal no es un limitante importante en su rendimiento como los deportes de precisión y también aquellos que requieren de un gran peso corporal total.

Tabla 5. Modalidades deportivas según percentil de porcentaje de grasa corporal.

Percentil Muestra deportista	Rango	Modalidades Deportivas
P3 – 15	Muy bajo	Maratón, atletismo fondo, gimnasia artística, gimnasia rítmica.
P20 – P30	Bajo	Mediofondo, marcha, S. longitud, S. altura, S. pértiga, velocidad prolongada, ciclismo, triatlón, judo (60 – 66 Kg.)
P35 – P45	Medio bajo	Velocidad corta, Pruebas combinadas, halterofilia (h 67 Kg.), boxeo (<63,5 Kg.), esquí de fondo.
P50 – P60	Medio	Baloncesto (puesto 1), H. hierba, fútbol, voleibol, natación, piragüismo, remo, florete, boxeo (67 – 81 Kg.), judo (73 – 81).
P65 – P75	Medio alto	Baloncesto (p. 2,3 y 4), L. jabalina, espada, sable, halterofilia (83 – 91 Kg.), judo (<90Kg.), esquí alpino.
P80 – P85	Límite Alto	Lanzamiento de disco, baloncesto (p. 5), boxeo (81 – 91 Kg.)
P90 – P95	Alto	Lanzamiento de martillo, judo (<100 Kg.), golf, tiro olímpico
P97	Muy alto	Lanzamiento de peso

En deportes predominantes de fuerza y potencia, el componente de mayor relevancia es la masa muscular o el componente libre de grasa (peso magro). Uno de las herramientas que podemos utilizar es el Índice de masa libre de grasa normalizado según la talla. Calculamos el componente graso y lo restamos al peso corporal total, y lo dividimos por la talla en metros al cuadrado, y comprobamos si el deportista está en el rango adecuado. En el Gráfico 1, podemos observar los valores medios obtenidos en las diferentes disciplinas deportivas, las líneas continuas representan el rango medio intercuartílico.

Las modalidades con valores más altos son halterofilia (> 100 Kg.), lanzamiento de peso y los jugadores de rugby de primera línea. En segundo lugar están judo (< 100 Kg.), halterofilia (< 100 Kg.), resto de lanzamientos (disco, martillo y jabalina), resto de jugadores de rugby y gimnasia.

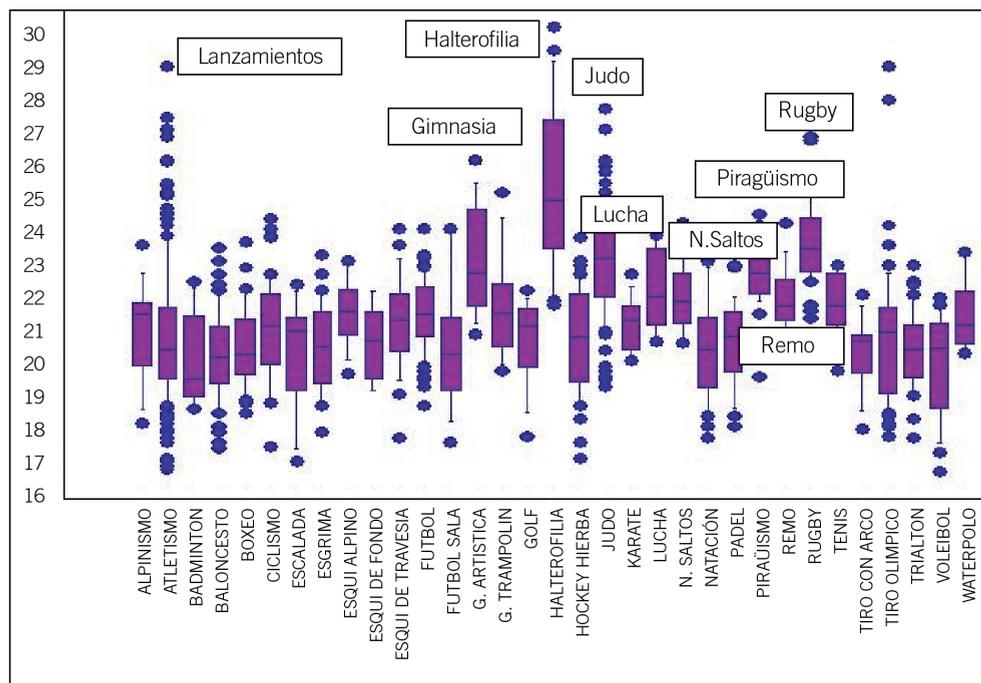


Gráfico 1. Índice de Masa libre de grasa por deportes en la muestra masculina.

· Asesoramiento sobre el peso que pueden alcanzar aquellos deportistas que compiten por categorías de peso, como en halterofilia, judo, boxeo o remo, según sus características antropométricas; así como su posterior control hasta el momento de la competición

En estos casos se realiza una estimación del peso mínimo mediante el estudio de la composición corporal. El peso mínimo se define como el peso corporal magro más la cantidad mínima de grasa necesaria para mantener un buen estado de salud. Se ha aceptado un 5% de grasa como el porcentaje mínimo que los deportistas varones deberían tener para mantener un rendimiento óptimo. Una reducción superior produciría efectos negativos sobre el estado nutricional y las funciones fisiológicas del deportista.

· Planificación y control de los cambios de peso a lo largo de la temporada

Es decir, desde la pretemporada hasta la competición. Las modificaciones en el peso corporal pueden ser debidas tanto al componente graso como al componente magro, y el peso total no nos ofrece ninguna información sobre estos cambios. Un deportista puede gracias al entrenamiento y a una dieta equilibrada perder grasa corporal y aumentar su masa muscular, sin que esto se refleje en su peso corporal. Es por ello, que los controles antropométricos son fundamentales para conseguir que el atleta llegue a las competiciones con la composición corporal más idónea.

En el Gráfico 2 y Tabla 6, se muestran los valores de 11 palistas que fueron controlados en tres ocasiones a lo largo de la temporada. Podemos observar como la grasa corporal disminuye del inicio de la pretemporada a su finalización manteniéndose en el siguiente periodo. El desarrollo muscular máximo se alcanza en la competición, a expensas fundamentalmente del tren superior.

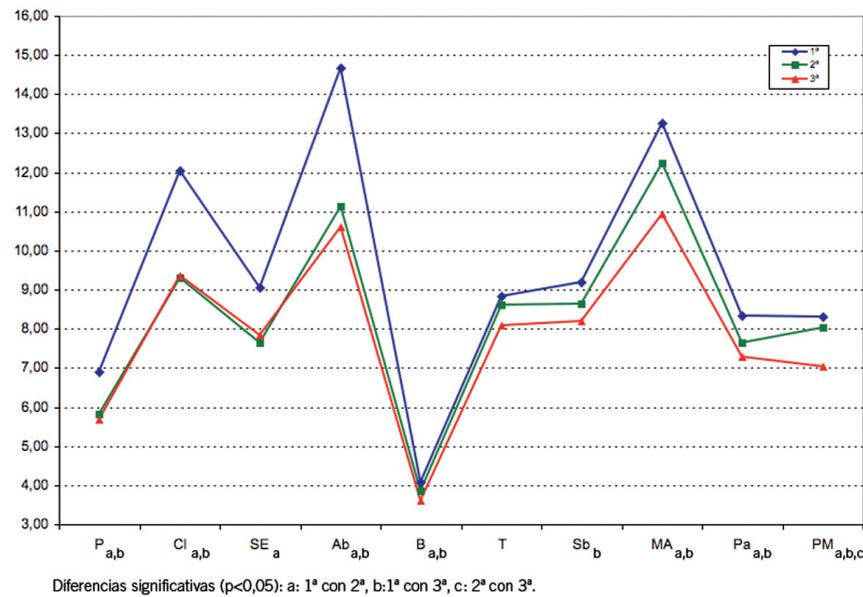


Gráfico 2. Evolución del perfil de pliegues cutáneos en piragüistas durante la temporada.

Diferencias significativas (p <0.05): a: 1ª con 2ª; b: 1ª con 3ª; c: 2ª con 3ª.

P: pectoral; Cl: cresta iliaca; SE: supraespal; Ab: abdominal; B: bíceps; T: tríceps; Sb: subescapular; M.A.: muslo anterior; Pa: patelar; P.M: pierna medial.

Tabla 6. Estudio evolutivo de la composición corporal en piragüistas durante una temporada.

(media ± std)	Sum 8 PL (mm) a,b	% grasa H v D a,b	% musc. Martín B	CSA Brazo (cm²) a,b	CSA Muslo (cm²)	CSA pierna (cm²)
1ª: Pretemporada	79,5 ± 25,5	8,97 ± 3,3	55,2 ± 1,6	60,94 ± 5,35	186,23 ± 10,4	98,06 ± 6,8
2ª: Fin Pretemporada	69,5 ± 17,6	7,1 ± 2,2	55,8 ± 2	64,55 ± 4,6	190,1 ± 16,04	96,9 ± 7
3ª: Inicio Competición	65,7 ± 14,4	6,7 ± 1,9	56,3 ± 1,6	65,8 ± 5	191,6 ± 14,4	97,9 ± 7,2

Diferencias significativas (p <0.05): a: 1ª con 2ª; B 1ª con 3ª.

· Seguimiento del deportista sometido a régimen dietético, ya sea orientado para reducir como para aumentar el peso corporal

Como acabamos de mencionar el estudio de la composición corporal es necesario para evaluar las modificaciones del peso total.

En el Gráfico 3 y Tabla 7 se recoge la evolución de un deportista con sobrepeso que perdió 11 Kg. en 14 meses. Además de la composición corporal, se ofrece la evolución del somatotipo, pudiendo observar como el componente endomórfico disminuye mientras que el mesomórfico se mantiene, y el ectomórfico aumenta.

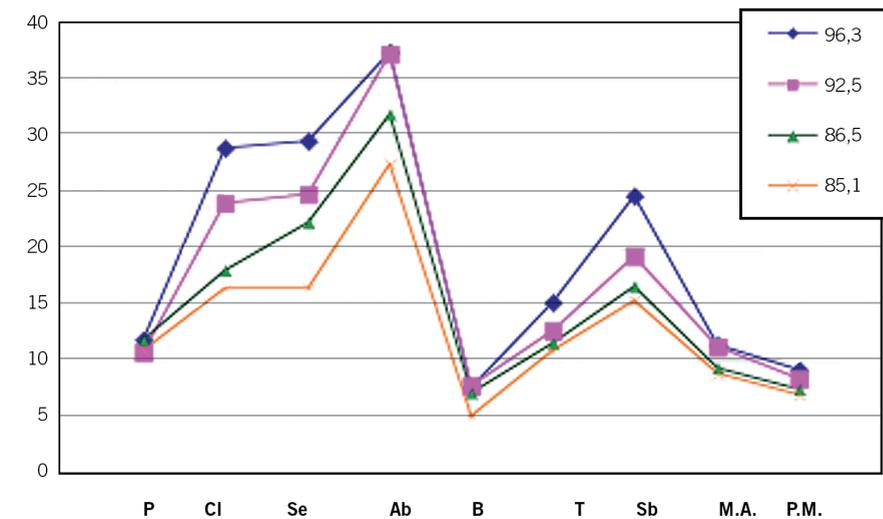


Gráfico 3. Evolución del perfil de pliegues durante la pérdida de peso.

P: pectoral; Cl: cresta iliaca; SE: supraespal; Ab: abdominal; B: bíceps; T: tríceps; Sb: subescapular; M.A.: muslo anterior; P.M.: pierna medial

Tabla 7. Evolución del peso, porcentajes y somatotipo.

COMPOSICIÓN CORPORAL		
Peso graso (Kg.)	% grasa	% muscular
21,3	22,1	39,4
18,6	20,1	40,7
15,9	18,3	41,4
14	16,5	43
SOMATOTIPO		
ENDO	MESO	ECTO
6,2	5,6	0,8
4	5,5	1,9

- Estudio del perfil de distribución de la grasa subcutánea, mediante la medición de los pliegues cutáneos tanto en tronco como en extremidades

Cada modalidad deportiva podría tener un patrón o modelo típico según la actividad realizada, además de las influencias genéticas y hormonales individuales.

Existe un claro dimorfismo sexual en la distribución de la grasa, teniendo las mujeres mayor pánicula adiposo en extremidades y los varones mayor en tronco. También es conveniente evaluar a que nivel se producen los cambios en el tejido adiposo subcutáneo cuando se reduce o aumenta la grasa corporal total. En la *Tabla 8* se muestra el perfil de pliegues medio de la muestra femenina y masculina.

Tabla 8. Perfil de pliegues cutáneos de la muestra de deportistas.

(mm)	P	Cl	Se	Ab	Sub	B	T	M.A.	P.M.
Mujer	6,2	12,2	8,5	11,8	10,3	5	12,6	19,1	11,6
Varón	5,7	11,6	7,8	10,6	9,9	3,8	8	10,2	6,7

P: pectoral; Cl: cresta iliaca; Se: supraespal; Ab: abdominal; Sub: subescapular; B: bíceps; T: tríceps; M.A.: muslo anterior; P.M.: pierna medial.

- Monitorización de los cambios de peso y de composición corporal en los deportistas jóvenes, durante el crecimiento, desarrollo y maduración

Con el crecimiento el peso corporal aumenta, sobre todo a expensas del peso magro, debido al mayor desarrollo del sistema músculo-esquelético (óseo y muscular). Además hay que añadir la influencia que el entrenamiento y el ejercicio tienen sobre estos componentes: aumento de la densidad ósea, aumento del contenido mineral óseo, aumento de la masa muscular y disminución moderada-alta de la grasa corporal. También con la edad, el patrón de distribución de la grasa corporal se modifica, disminuyendo en extremidades y aumentando en tronco.

- Valoración del perfil de desarrollo muscular

Esto se realiza mediante el estudio de las áreas corregidas a diferentes niveles y segmentos (áreas transversales, CSA: Cross Sectional Area). Cada deporte se caracteriza por un mayor o menor desarrollo muscular según la zona que más se implica en el gesto deportivo. Así, los piragüistas tienen un claro predominio del tren superior sobre el inferior, mientras que por el contrario los ciclistas es a nivel inferior donde alcanzan el mayor desarrollo muscular. Además de servir para describir y comparar diferentes poblaciones han sido utilizadas para predecir la fuerza muscular y la fuerza por unidad de CSA muscular.

Los valores medios de la muestra deportiva general se muestran en la *Tabla 9* y las medias de algunas de las modalidades deportivas en la *Tabla 10*.

Tabla 9. Áreas Musculares Transversales (csa).

CSA (cm ²)	varón	mujer
BRAZO	58,97	36,25
MUSLO	201,1	153,36
PIERNA	103,4	81,35

Ecuación de Heymsfield y col. (1982)

Tabla 10. Áreas Musculares Transversales (csa) por modalidades deportivas.

CSA (cm ²)	Brazo		Muslo		Pierna	
	varón	mujer	varón	mujer	varón	mujer
Maratón	39,14	23,75	168,93	136,23	94,92	82,16
Velocidad	54,38	31,38	205,38	153,62	108,76	85,83
P. Combinadas	64,67	37,54	208,55	172,60	114,38	91,86
Natación	61,52	42,77	189,41	155,17	99,87	75,59
Piragüismo	72,92	49,68	197,17	144,14	103,56	80,28
Tiro Olímpico	53,42	32,92	177,52	134,13	94,73	77,94

2.1.2 Somatotipo

Ha sido ampliamente utilizado en estudios de deportistas para definir su forma corporal y para analizar las diferencias según el deporte practicado. Estas diferencias hacen suponer que cada evento requiere de un somatotipo óptimo para conseguir el éxito deportivo.

En la mayoría de los deportes, al nivel de alta competición, los deportistas son más mesomórficos y menos endomórficos con relación a los del grupo control. También a mayor nivel competitivo se observa que la variación del somatotipo en cada deporte es menor.

En deportes de equipo, el rango del somatotipo es con frecuencia mayor, debido a los distintos requerimientos físicos para cada puesto de juego, disminuyendo la dispersión cuando se les agrupa por puestos.

En los tests de aptitud y condición física se establece una correlación positiva con la mesomorfía y negativa con la endomorfía.

Podemos concretar las aplicaciones del estudio del somatotipo en los siguientes puntos:

- Descripción del físico de cada deportista y análisis de su adecuación o no, a los requerimientos físicos para la actividad deportiva practicada, mediante comparación con los valores de referencia establecidos

El somatotipo medio de la muestra femenina y masculina de la población deportista es: 3,2 – 4,1 – 2,9 y 2,4 – 5,3 – 2,6 respectivamente. Ambas están en la categoría de la mesomorfía balanceada, teniendo la mujer mayor endomorfismo y el varón mayor mesomorfismo.

- Establecimiento de comparaciones entre deportistas de diferentes modalidades, y entre sexos para un mismo deporte, valorando si existen diferencias según el gesto deportivo, la intensidad y tipo de entrenamiento y según el sexo

- Análisis de los cambios debidos al entrenamiento y/o dieta

A lo largo de la temporada los componentes del somatotipo pueden variar bajo la influencia del entrenamiento durante sus

distintas fases, así como también por otros factores como los hábitos dietéticos. En este último caso, los cambios se reflejarán fundamentalmente en el componente endomórfico.

- Control del crecimiento en atletas jóvenes

El somatotipo se va modificando durante el desarrollo y maduración de niños y jóvenes, hasta que alcanzan el estado adulto. Con el crecimiento aumenta la masa muscular y la osificación se completa, debido a ello, el componente mesomórfico aumenta y el componente ectomórfico disminuye. Existiendo por tanto una relación entre el grado de madurez y el valor del somatotipo.

- Consejo sobre el deporte o actividad física más idónea

Determinando el somatotipo y mediante su comparación con los valores de referencia, podremos orientar a la persona que quiere iniciarse en la práctica deportiva en aquellas modalidades donde podrá tener más posibilidades de rendir más y alcanzar el éxito deportivo.

En la *Tabla 11* se muestran los componentes del somatotipo de las diferentes modalidades de atletismo. El mesomorfismo es el componente dominante o bien predomina por igual el mesomorfismo y ectomorfismo. El menor componente endomórfico se da en las carreras de fondo y en las de salto (altura y longitud) y el mayor en lanzamientos (excepto jabalina). En la mesomorfía, el valor más bajo lo dan los saltadores de altura y el valor más alto los lanzadores, debido a su gran desarrollo músculo-esquelético. En relación al ectomorfismo, es salto de altura la modalidad de valor más alto (linealidad mayor) y los lanzadores los que tienen el menor valor.

Tabla 11. Componentes del somatotipo en atletismo por especialidades.

muestra masculina	Endo	Meso	Ecto
ATLETISMO:			
Maratón	1,6 ± 0,2	4,1 ± 0,8	3,7 ± 0,7
Fondo	1,6 ± 0,3	4,2 ± 0,9	3,6 ± 0,7
Mediofondo	1,7 ± 0,3	4,0 ± 0,8	3,8 ± 0,7
Velocidad	1,8 ± 0,4	4,8 ± 1,0	3,1 ± 0,8
S. Altura	1,6 ± 0,5	3,9 ± 0,7	4,0 ± 0,6
S. Longitud	1,5 ± 0,3	4,4 ± 1,0	3,6 ± 0,9
S. Pértiga	1,8 ± 0,5	4,8 ± 1,4	3,0 ± 1,1
P. Combinadas	2,0 ± 0,4	5,5 ± 0,8	2,4 ± 0,8
L. Jabalina	2,6 ± 0,6	6,7 ± 0,5	1,4 ± 0,4
Lanzamientos	4,1 ± 1,7	7,3 ± 1,5	0,8 ± 0,7

El somatotipo de diferentes deportes de la muestra femenina se recogen en la *Tabla 12*. El mesomorfismo es el componente dominante, seguido del ectomorfismo. El menor componente endomórfico se da en las carreras de fondo y gimnasia rítmica y el mayor en lanzamientos y tiro olímpico. En la mesomorfía, el valor más bajo lo dan los saltadores de altura y el valor más alto en halterofilia y lanzamientos, indicando su desarrollo músculo-esquelético. En relación al ectomorfismo, es gimnasia rítmica la modalidad de valor más alto y lanzamiento la de menor valor.

Tabla 12. Somatotipo por modalidades deportivas en la muestra femenina.

muestra femenina	Endo	Meso	Ecto
ATLETISMO:			
Maratón	1,9 ± 0,4	3,2 ± 0,6	4,0 ± 0,8
Fondo	2,1 ± 0,7	3,4 ± 0,7	3,6 ± 0,7
Mediofondo	2,2 ± 0,6	2,9 ± 0,7	3,8 ± 0,6
Velocidad	2,7 ± 0,6	3,5 ± 0,7	3,3 ± 0,8
S. Altura	2,2 ± 0,6	2,2 ± 0,9	4,7 ± 1,0
S. Longitud	2,5 ± 0,5	3,3 ± 1,0	3,5 ± 0,9
S. Pértiga	3,0 ± 0,8	4,7 ± 0,6	2,5 ± 0,6
P. Combinadas	2,4 ± 0,7	3,5 ± 0,8	3,5 ± 0,8
Lanzamientos	5,6 ± 1,6	5,8 ± 1,7	1,2 ± 1,1
CICLISMO	2,1 ± 0,3	2,9 ± 0,4	3,9 ± 0,4
GIMNASIA ARTISTICA	2,2 ± 0,9	4,8 ± 1,0	2,6 ± 1,0
GIMNASIA RITMICA	1,9 ± 0,5	2,4 ± 0,6	5,3 ± 0,7
HALTEROFILIA:			
48 – 58 Kg.	3,7 ± 0,8	5,3 ± 1,1	1,4 ± 0,6
63 – 75 Kg.	4,1 ± 0,6	6,4 ± 0,6	1,0 ± 0,3
HOCKEY HIERBA	3,6 ± 1,1	4,4 ± 0,8	2,2 ± 0,8
NATACIÓN	3,2 ± 0,9	3,9 ± 0,8	2,9 ± 0,9
PIRAGÜISMO	2,9 ± 0,9	4,9 ± 0,8	2,4 ± 0,9

2.2 Dificultades de relevancia en algunos deportes con el peso corporal

Como hemos comentado anteriormente algunas modalidades deportivas requieren mantener el menor peso corporal, por lo que bajan su componente graso al mínimo considerado como saludable. Esto ocurre en las pruebas de fondo como maratón o triatlón. También en los deportes que se compite por categorías de peso, el deportista requiere mantenerse en aquella en la cual combine un peso magro adecuado con el peso graso mínimo.

Por otra lado, en deportes de fuerza y potencia, como lanzamientos, rugby o halterofilia, en los que se necesita un gran desarrollo músculo-esquelético, el deportista debe aumentar su peso corporal, pero a expensas fundamentalmente del componente magro, y en especial de su masa muscular. Es por todo ello, que el estudio de la composición corporal en dichas modalidades es importante a la hora de valorar los cambios del peso total y asesorar a los deportistas en relación al peso más adecuado para la competición.

A continuación comentamos como ejemplo algunos casos concretos:

2.2.1 Deportes que requieren mantener un bajo peso corporal

Deportista varón de atletismo, especialidad de fondo, visto durante tres temporadas seguidas en las que se realizó 7 controles antropométricos (Tabla 13).

Tabla 13. Estudio evolutivo de la composición corporal durante tres temporadas consecutivas.

Nº control	Peso (Kg.)	% grasa	% muscular	Sum 8 PL.C.	Peso Graso (Kg.)	Peso Magro (Kg.)
Pretemporada 1	46,9	8,79	47,47	35,4	4,12	42,78
2	47,2	8,76	47,63	35,43	4,14	43,06
3	48	8,87	47,84	36,87	4,26	43,74
Pretemporada 4	47,1	8,9	47,41	36,67	4,19	42,91
5	47,4	8,8	47,63	35,87	4,17	43,23
Pretemporada 6	48,1	10,53	46,19	53,47	5,07	43,03
7	46,4	8,87	47,2	36,63	4,11	42,29

Podemos comprobar que mantiene un peso corporal estable a lo largo del tiempo con una variación máxima de 1,7 Kg. El tercer control, con 48 Kg. coincide con el periodo de competición y es donde su peso magro es mayor. Si solo controláramos el peso total, podríamos pensar que en el 6º control realizado en pretemporada, el atleta estaba ya en condiciones similares al de competición, sin embargo venía de una lesión de tres meses de evolución, y el peso ganado correspondía al componente graso, elevando su porcentaje graso en 1,66. Al siguiente control, descendió el peso graso a sus valores habituales pero sin aumentar el peso magro.

2.2.2 Deportes que requieren mantener un alto peso corporal

Deportista varón de rugby, de primera línea de la melé, nos planteamos si su peso corporal es el adecuado para su posición de juego.

Sus datos actuales son: Peso: 100,5 Kg.; Estatura: 182,1 cm. Calculamos su peso magro y el IMLGn (Índice de masa libre de grasa normalizada), con un resultado de 81,5 Kg. y 24,4 respectivamente. Lo comparamos con el IMLGn media de su grupo que es 26. Por tanto podría aumentar su peso corporal a expensas del componente magro, estimando este aumento en 5 Kg. Es decir, su peso corporal óptimo para su puesto de juego sería de 105 Kg.

2.2.3 Deportes en los que se compite por categorías de peso

Deportista mujer de 19 años que compite en la categoría de peso inferior a 59 Kg. de lucha. ¿Puede esta deportista bajar a una categoría de peso inferior? ¿A qué porcentaje de grasa debería descender?

Sus datos actuales son: Peso: 58,9 Kg.; Estatura: 164,3 cm. Porcentaje de grasa del 20,5 % y un peso magro de 46,8 Kg. Calculamos que porcentaje de grasa representaría si manteniendo el peso magro actual alcanzará el peso corporal total deseado (55 Kg.) y lo mismo pero estimando también que se diera una ligera disminución del peso magro actual. Obteniendo que el porcentaje de grasa al que la luchadora tendría que descender para dar ese peso corporal estaría entre 15 y 16,7%.

A las 6 semanas realizamos un nuevo control a la luchadora con el siguiente resultado: peso corporal: 54,9 Kg. y porcentaje de grasa de 17,3.

La evolución del perfil de pliegues muestra un descenso generalizado del panículo adiposo.

En cuanto a las áreas musculares transversales determinadas a nivel de brazo, muslo y pierna, comprobamos que con la disminución del peso corporal, descendía ligeramente en brazo y mantenía las de miembro inferior.

- Barr, S.I.; McCargar, L.J.; Crawford, S.M. Practical use of body composition analysis in sport. *Sports Med.* 17(5): 277-282, 1994.
- Canda Moreno, A.S. Estimación antropométrica de la masa muscular en deportistas de alto nivel. En: *Métodos de estudio de composición corporal en deportistas*. Ministerio de Educación y Cultura. Consejo Superior de Deportes. Colección ICD, 8. Madrid: CSD, p.9-26, 1996.
- Canda Moreno, A.S. Antropometría y atletismo. En: *Atletismo y Deporte de Minusválidos*. Asociación Navarra de Medicina del Deporte. Anales ANAMEDE'96. Pamplona: Archivos de Medicina del Deporte, p.130-148, 1997.
- Canda Moreno, A.S. Taller de Cineantropometría: protocolo de medición y valores de referencia. En: *VIII Congreso de FEMEDE. (Actas)*. Cuadernos Técnicos del Deporte 31. Zaragoza: s.n., p. 59-76, 2001.
- Canda, A.S.; De la Torre, A.; Heras, E.; Higuera, S.; Pancorbo, A. Estimation of skeletal muscle mass by fat-free mass index in males athletes. *Arch. Med. Deporte*, XXV(128): 468, 2008.
- Carter, J.E.L.(ed.). *Physical Structure of Olympic Athletes. Part I: The Montreal Olympic Games Anthropological Project*. JEL Carter. Medicine and Sport, 16. Basel: Karger, 1982.
- Carter, J.E.L.(ed.). *Physical Structure of Olympic Athletes. Part II. Kinanthropometry of Olympic Athletes*. JEL Carter. Medicine and Sport, 18. Basel: Karger, 1984.
- Carter, J.E.L. Morphological Factors Limiting Human Performance. En: *Limits of Human Performance*. USA. Clarke, D.H.; Eckert, H.M. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, p.106-117, 1985.
- Carter, J.E.L.; Heath, B.H. *Somatotyping. Development and applications*. Cambridge Studies in Biological Anthropology, 5. Cambridge [England]; New York: Cambridge University Press, 1990.
- Carter, J.E.L.; Ackland, T.R. *Kinanthropometry in Aquatic Sports: a study of world class athletes*. HK Sport Science Monograph Series, vol. 5. Champaign, IL: Human Kinetics, 1994.
- Durnin, J.V.G.A.; Womersley, J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br. J. Nutr.* 32: 77-97, 1974.
- Esparza Ros, F.; Grupo Español de Cineantropometría (GREC). *Manual de Cineantropometría*. Monografías de medicina del deporte de FEMEDE, 3. Pamplona: Federación Española de Medicina del Deporte (FEMEDE), 1993.
- Fleck, S.J. Body composition of elite American athletes. *Am. J. Sports Med.* 11 (6): 398-403, 1983.
- Heymsfield, S.B.; Mcmanus, C.; Smith, J.; Stevens, V.; Nixon, D.W. Anthropometric measurement of muscle-mass: revised equations for calculating bone-free arm muscle area. *Am. J. Clin. Nutr.* 36 (4): 680-690, 1982.
- Jackson, A.S.; Pollock, M.L. Practical Assessment of Body Composition. *Phys. Sportsmed.* 13 (5): 76-80, 1985.
- Lohman, T.G. *Advances in Body Composition Assessment*. Current issues in Exercise Science Series. Monograph nº 3. Champaign, Ill.: Human Kinetics Publishers, 1992.
- Lohman, T.G.; Roche, A.F.; Martorell, R. *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books, 1988.
- Maughan, R.J.; Watson, J.S.; Weir J. Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *J. Physiol.* 338: 37-49, 1983.

Norton, K.; Olds, T. *Anthropometrica: a textbook of body measurement for sports and health courses*. Sidney: University of New South Wales Press, 1996.

Ross, W.D.; Marfell-Jones, M.J.; Kinanthropometry. En: *Physiological Testing of the High-Performance Athlete*. MacDougal, J.D.; Wenger, H.A.; Green, H.J. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books, 1991.

Sinning, W.E. Body composition and athletic performance. En: *Limits of Human Performance*. USA. Clarke, D.H.; Eckert, H.M. Human Kinetics Publishers, p.45-56, 1985.

Tanner, J.M. *The Physique of the Olympic Athlete*. London: George Allen and Unwin LTD, 1964.

Whiters, R.T.; Craig, N.P.; Bourdon, P.C.; Norton, K.I. Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 56(2) : 191-200, 1987.

Wilmore, J.H. Body composition in sport and exercise. Directions for future research. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15 (1): 21-31, 1983.

Yuhasz, M.S. The Effects of Sports Training on Body Fat in Man With Prediction of Optimal Body Weight. [Tesis doctoral no publicada], Univ. of Illinois, 1962. Citada en: Wilmore, J.H.; Behnke, A.R. An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men. *J. Appl. Physiol.* 27 (1), pp. 25-31, 1969.

3. IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS CARDIOVASCULARES EN EL CONTROL DEL ENTRENAMIENTO Y LA SALUD DEL DEPORTISTA

M^a Eugenia Heras Gómez
Araceli Boraita Pérez

Las intensas cargas de entrenamiento y el nivel de estrés psicológico al que están sometidos los deportistas de alto nivel hace necesario un apoyo científico especializado que permita optimizar sus resultados y evitar situaciones desfavorables que supongan una limitación para el rendimiento o un deterioro de su salud.

Parte de dicho apoyo científico lo aporta la cardiología del deporte, una ciencia que permite detectar patologías cardiológicas, muchas veces desconocidas por el propio deportista, que pueden limitar su capacidad física e incluso llegar a poner en peligro su vida cuando entrena a intensidades elevadas. La cardiología del deporte además estudia las adaptaciones del corazón al ejercicio, permitiéndonos valorar si dichas adaptaciones son adecuadas o no a la modalidad deportiva practicada, así como detectar algunas alteraciones que aparecen en el síndrome de sobreentrenamiento, lo cual puede ser de gran utilidad a la hora de individualizar la planificación del entrenamiento.

Desde el punto de vista cardiológico, el control de la salud y el control del entrenamiento del deportista están estrechamente relacionados entre sí, puesto que si no existe un buen estado de salud, difícilmente se va a conseguir rendir al máximo nivel, e inversamente un entrenamiento inapropiado puede repercutir negativamente sobre la salud del deportista. Por este motivo ambos aspectos deben ser valorados conjuntamente mediante la historia clínica médico-deportiva, la exploración física y pruebas complementarias como el electrocardiograma basal y de esfuerzo (prueba de esfuerzo y Holter-ECG), el ecocardiograma-doppler, ECO de estrés, y si fuera necesario con la realización de pruebas más complejas como la cardiorresonancia, el angioTAC, el estudio de perfusión miocárdica, la coronariografía o el estudio genético.

3.1 Valoración cardiológica del entrenamiento

La valoración cardiológica del entrenamiento se debe hacer de manera individualizada y de forma integral dentro de un contexto clínico-deportivo, siendo los pilares fundamentales la historia clínica, la exploración cardiovascular, los registros electrocardiográficos y el ecocardiograma-doppler.

A continuación se enumeran los distintos apartados utilizados en el Servicio de Cardiología del Centro de Medicina del Deporte del CSD para la valoración de la adaptación al entrenamiento.

- a. Historia clínica
- b. Exploración física
- c. ECG de reposo
- d. Radiología
- e. Ecocardiograma-doppler y ECO de estrés
- f. ECG de esfuerzo: Prueba de esfuerzo y Holter-ECG
- g. Monitorización ambulatoria de la tensión arterial (MAPA)
- h. Analítica sanguínea
- i. Otras pruebas diagnósticas

a. Historia clínica

La historia clínica es fundamental para orientar hacia el diagnóstico de determinadas patologías cardiacas, siendo de vital importancia la presencia de síntomas como dolor torácico, palpitaciones, mareo en relación con el ejercicio, disnea desproporcionada al esfuerzo, síncope o presíncope, así como la presencia de antecedentes familiares de cardiopatía. Igualmente se interrogará sobre posibles hábitos tóxicos, ya que el hecho de ser deportista de alto nivel no les exime de ellos, siendo la prevalencia del tabaquismo mayor de lo que cabría esperarse en algunas modalidades deportivas.

También son fundamentales antecedentes deportivos como el tipo de deporte practicado, el número de años que lleva entrenando a alto nivel, el momento de la temporada en que se encuentra en el momento de la valoración, el volumen de entrenamiento (horas/semana o km/semana), etc. ya que nos permitirán valorar si la adaptación cardiológica es adecuada al entrenamiento realizado, o si por el contrario existen alteraciones que no pueden ser atribuidas al mismo.

No debemos olvidar interrogar sobre la presencia de síntomas sugestivos de sobreentrenamiento como una disminución del rendimiento, trastornos del sueño, cambios en el peso corporal, fatiga, apatía, irritabilidad, alteraciones de la frecuencia cardíaca y de la tensión arterial, etc., ya que son estos síntomas los que nos van a orientar hacia el diagnóstico de este síndrome. Aunque el ECG y el ecocardiograma nos pueden ayudar en la valoración del sobreentrenamiento, todas las pruebas diagnósticas, incluso las más sofisticadas, deben apoyarse siempre sobre una base clínica.

En determinados casos será necesario valorar si el deportista realiza una correcta reposición hidroelectrolítica, especialmente en deportes en los que se compite por categoría de peso, donde es frecuente la utilización de técnicas peligrosas dirigidas a perder peso (restricción de la ingesta hídrica, entrenamiento con plásticos, uso de diuréticos y laxantes, etc.) que pueden alterar el equilibrio hidroelectrolítico del organismo. Debe tenerse en cuenta que la alteración de la concentración de los iones en sangre puede producir alteraciones en el electrocardiograma basal y aumentar el riesgo de presentar arritmias cardíacas. Además, una hidratación inadecuada puede alterar algunos de los parámetros ecocardiográficos tanto a nivel cuantitativo como cualitativo, por lo que deberá tenerse en cuenta a la hora de valorar la adaptación cardíaca por esta técnica.

El uso de algunos fármacos puede alterar el electrocardiograma (diuréticos, antihistamínicos, ciertos antibióticos, etc.) por lo que deberá interrogarse también sobre la toma de medicación u otros suplementos. Hay que destacar que en personas genéticamente predispuestas, la utilización de ciertos fármacos puede dar lugar a la prolongación del intervalo QT en el electrocardiograma, aumentando así el riesgo de presentar arritmias ventriculares.

b. Exploración física

En los deportistas altamente entrenados es frecuente encontrar soplo proto-mesosistólico de medianas frecuencias debido al aumento del volumen sistólico, sin embargo la auscultación de soplos diastólicos o de ruidos pericardíacos nos tiene que hacer sospechar patología. En la auscultación cardíaca también hay que prestar atención al ritmo cardíaco ya que se pueden detectar arritmias o extratonos (tercer y cuarto ruidos o galope de suma) de nueva aparición, que pueden indicar trastornos hemodinámicos. No se debe olvidar la toma de los pulsos y de

la tensión arterial en reposo, ya que aportan información sobre el estado hemodinámico del deportista.

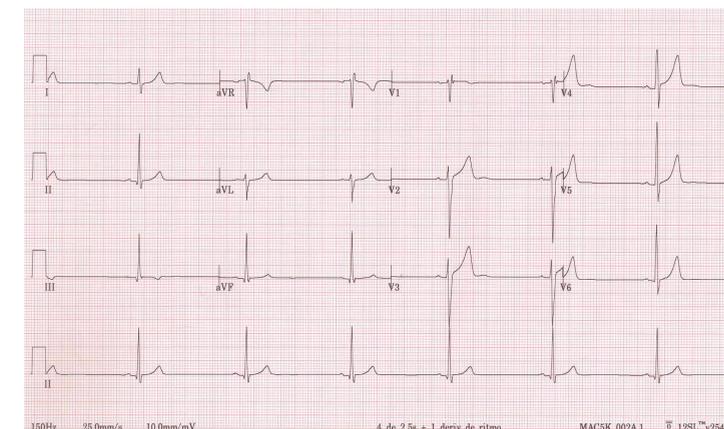
c. Electrocardiograma de reposo (ECG basal)

El ECG es una prueba de bajo coste que aporta gran información, por lo que la Sociedad Europea de Cardiología ha recomendado su inclusión sistemática en los protocolos de reconocimiento médico deportivo.

La práctica de ejercicio físico regular puede dar lugar a una serie de alteraciones en el ECG que en ocasiones pueden ser confundidas con patologías. Los cambios más típicos en el ECG del deportista son secundarios al aumento del tono vagal y al desarrollo de hipertrofia cardíaca fisiológica que se producen con el entrenamiento. A continuación se describen los hallazgos más característicos del ECG de deportista:

- Bradicardia sinusal
- Arritmia sinusal
- Bloqueo AV de 1º y 2º grado tipo I
- Ensanchamiento de la onda P y del complejo QRS
- Repolarización precoz
- Ondas T vagotónicas
- Signos de hipertrofia ventricular izquierda por criterios de voltaje

Figura 1: Electrocardiograma de reposo con hallazgos típicos del ECG del deportista.



No obstante, en la valoración de estos hallazgos debe tenerse siempre en cuenta el contexto clínico ante el que nos encontramos, siendo diferente en función del tipo de deporte practicado, la edad, el volumen y la intensidad del entrenamiento. Por ejemplo, una bradicardia severa tiene distinta significación en un golfista de 15 años que en un ciclista profesional de 35 años que lleva toda su vida entrenando, y a una alta intensidad.

Por otro lado, el ECG basal nos puede orientar sobre la presencia de numerosas patologías cardíacas como miocardiopatías, cardiopatías congénitas, patologías valvulares, trastornos de los canales iónicos, pericarditis o cardiopatía isquémica, que posteriormente deberán ser confirmadas mediante la realización de otras pruebas diagnósticas.

d. Radiografía de tórax

Puede ser útil ante la sospecha de patologías cardiopulmonares y músculo-esqueléticas, si bien no parece justificada su inclusión generalizada en la realización de reconocimientos cardiológicos deportivos debido a que es una prueba que produce radiación y a que gran parte de la información que aporta puede obtenerse por otras pruebas más inocuas. La radiografía de tórax debería realizarse a deportistas de alto nivel al menos en una ocasión, repitiéndose en los sucesivos reconocimientos solamente cuando exista alguna indicación clínica.

En los deportistas de resistencia altamente entrenados es característico encontrar la presencia de un aumento de tamaño global de la silueta cardíaca, así como un aumento de la vascularización pulmonar en los campos superiores.

e. Ecocardiograma

Es una técnica que consiste en la utilización de los ultrasonidos para la valoración morfológica y funcional del corazón. Al tratarse de una prueba incruenta y de fácil acceso, su uso está muy extendido en la cardiología clínica, y poco a poco se va ampliando su utilización en la cardiología del deporte.

Es muy útil en el diagnóstico de ciertas cardiopatías, algunas de las cuales están implicadas en la muerte súbita del deportista, como son las miocardiopatías (hipertrofica, arritmogénica o no compactada), pericarditis, patología aórtica, patología valvular o malformaciones

congénitas como por ejemplo las anomalías de las arterias coronarias. Además nos permite valorar la adaptación cardíaca al entrenamiento y detectar la presencia de algunos signos de fatiga cardíaca dentro del síndrome de sobreentrenamiento.

En el Centro de Medicina del Deporte del CSD, para la valoración de la adaptación cardíaca al entrenamiento se realiza la determinación de variables como la dimensión de las cavidades cardíacas (Aorta, Ventrículo izquierdo, Ventrículo derecho, Aurícula izquierda y Aurícula derecha), espesores parietales, gasto cardíaco, parámetros de función sistólica (fracción de eyección tanto por el método Teichholz como por el método Simpson), parámetros de función diastólica (patrón de llenado del Ventrículo izquierdo y Ventrículo derecho tanto por doppler convencional como por doppler tisular), determinación de la presión sistólica pulmonar y valoración de la asincronía mecánica.

Entre los hallazgos ecocardiográficos que podemos encontrar en un corazón con una buena adaptación al ejercicio podemos destacar los siguientes:

- Aumento en el volumen de todas las cavidades
- Ligero engrosamiento uniforme de las paredes
- Aumento en la masa ventricular izquierda
- Aumento en el volumen latido
- Índices de contractilidad en el rango de la normalidad
- Mayor volumen de llenado ventricular precoz
- Mayor calibre de los vasos coronarios

En cuanto al síndrome de sobreentrenamiento, aún quedan muchos aspectos por investigar, si bien la fatiga cardíaca ha sido relacionada con alteraciones de la función tanto sistólica como diastólica. Las nuevas técnicas como el doppler tisular están siendo utilizadas para valorar la posible relación entre asincronía mecánica y el sobreentrenamiento.

· Ecocardiograma de estrés

Consiste en la realización de un ecocardiograma en situación de sobrecarga para el corazón, ya sea mediante esfuerzo físico o por estimulación farmacológica (dobutamina, dipiridamol), lo que permite comparar la función del corazón en reposo y ejercicio. Ha sido utilizado principalmente en pacientes con cardiopatía isquémica. En deportistas podría ser utilizada para valorar

alteraciones de la contractilidad durante el ejercicio, aunque la realización de esta prueba es difícil debido a las elevadas FC y frecuencias respiratorias alcanzadas, que dificultan la obtención de buenas imágenes ecocardiográficas.

f. Electrocardiograma de esfuerzo

Como hemos comentado anteriormente el ECG basal puede aportar una gran información sobre determinadas patologías, sin embargo no siempre es suficiente y en algunos casos las alteraciones del ECG tan solo se ponen de manifiesto durante la realización del ejercicio.

La monitorización del ECG de esfuerzo puede realizarse mediante una prueba de esfuerzo o bien de forma ambulatoria (Holter ECG).

· Prueba de esfuerzo

En la clínica, la prueba de esfuerzo fundamentalmente está dirigida al diagnóstico de cardiopatía isquémica y con menos frecuencia a la detección de arritmias desencadenadas con el ejercicio. En la población deportiva de alto nivel la cardiopatía isquémica es muy poco frecuente, aunque puede encontrarse en disciplinas deportivas en las que los practicantes presentan mayor edad (por ejemplo tiro olímpico, alpinismo, golf) o en sujetos con malformaciones congénitas de las arterias coronarias. En la población deportiva de ocio y recreación, donde la edad media de los deportistas es más elevada, especialmente en deportes como la carrera de media-larga distancia y el cicloturismo, la prevalencia de cardiopatía isquémica es más elevada y por tanto la prueba de esfuerzo es útil en su despistaje. De hecho, las recomendaciones de la 36ª Conferencia de Bethesda y del Grupo de Trabajo de Cardiología del Deporte de la Sociedad Europea de Cardiología, recomiendan incluir una prueba de esfuerzo en el protocolo de reconocimiento preparticipación deportiva de los deportistas varones mayores de 40 años y de las mujeres mayores de 50 años, especialmente cuando existe algún factor de riesgo cardiovascular.

La prueba de esfuerzo también es de utilidad en los deportistas con arritmias, tanto supraventriculares como ventriculares, ya que nos permite valorar su comportamiento con el ejercicio y su repercusión hemodinámica. En deportistas jóvenes, éste tipo

de patologías es más frecuente que la cardiopatía isquémica, y en ocasiones suponen la primera manifestación de otras cardiopatías subyacentes.

La prueba de esfuerzo además nos permite valorar la respuesta de la FC y de la tensión arterial al ejercicio y en la recuperación, así como la capacidad funcional del deportista. Se pueden encontrar:

- Incompetencia cronotropa secundaria a sobreentrenamiento, a la utilización de fármacos o a disfunción sinusal.
- Taquicardización inapropiada debida a disfunción tiroidea, anemia, fármacos o sobreentrenamiento.
- Respuesta hipotensiva por disfunción ventricular, insuficiencia valvular severa o distonía neurovegetativa.
- Respuesta hipertensiva por hipertensión arterial subclínica, valvulopatías o fármacos.

Por todos estos motivos se incluye la realización de una prueba de esfuerzo máxima como parte del reconocimiento médico deportivo en los deportistas de alto nivel que acuden al Centro de Medicina del Deporte del CSD.

· Monitorización ambulatoria del ECG (Holter-ECG)

El Holter-ECG consiste en la monitorización ambulatoria del ECG, habitualmente durante 24-48 horas y en ocasiones hasta 7 días, durante los cuales el deportista realiza su vida cotidiana. Está indicado en casos seleccionados, en función de la sintomatología referida por el deportista (palpitaciones, mareo, presíncope o síncope), de los hallazgos encontrados en el ECG basal o en la prueba de esfuerzo (bradicardia sinusal < 40 lpm, extrasístolia supraventricular o ventricular frecuente, taquicardias paroxísticas) o como protocolo de estudio en pacientes con cardiopatía orgánica.

Es fundamental que el deportista realice al menos una sesión de entrenamiento durante la monitorización con el fin de valorar el comportamiento del ECG durante el mismo, sin embargo esta técnica tiene algunas limitaciones:

- En deportes de contacto o con riesgo de colisión existe riesgo de rotura del aparato o de desconexión de los electrodos.
- No se pueden realizar en deportes de agua como la natación, el waterpolo o el buceo porque los equipos no son estancos, si bien se están desarrollando nuevos aparatos que intentan solucionar este inconveniente.
- El entrenamiento de fuerza intenso con el tren superior puede artefactar el registro momentáneamente durante la contracción muscular máxima.

La monitorización ECG continua también puede ayudar en la valoración del sobreentrenamiento, ya que puede detectar alteraciones, como un aumento excesivo del tono vagal o una hipertonía simpática. La variabilidad de la frecuencia cardíaca es un buen indicador del grado de equilibrio/desequilibrio del sistema nervioso autónomo, permitiendo detectar en deportistas casos de sobreentrenamiento, caracterizados por una disminución de la capacidad de adaptación a las demandas del entrenamiento.

g. Monitorización ambulatoria de la presión arterial (MAPA)

Consiste en registrar la tensión arterial de forma ambulatoria durante 24 horas a intervalos de 15, 30 o 60 minutos.

Está indicado en sujetos con cifras limítrofes de la tensión arterial o respuesta hipertensiva en la prueba de esfuerzo. Aunque los equipos actuales son más ligeros y más fiables aún hoy en día tienen grandes limitaciones cuando son utilizados durante una actividad deportiva, presentando numerosos errores debidos a la contracción muscular y al movimiento. Los equipos más modernos utilizan doble sistema tanto oscilatorio como auscultatorio intentando obviar estos problemas.

h. Analítica sanguínea: Estudio bioquímico y hemograma

El estudio bioquímico también resulta útil en la valoración cardiológica del deportista. La determinación de los iones en sangre es importante cuando nos encontramos ante ciertas alteraciones en el electrocardiograma, especialmente en deportes donde se utilizan técnicas agresivas para perder peso. Se pueden encontrar alteraciones debidas a sobreentrenamiento como un aumento de la relación Cortisol/

Testosterona, aumento de productos de degradación muscular como la Creatin Quinasa (CPK) o la Bilirrubina, así como alteraciones del hemograma, lo que nos puede resultar de ayuda a la hora de interpretar los resultados obtenidos en las pruebas cardiológicas. Una taquicardia sinusal inapropiada puede ser debida a anemia o a hipertiroidismo, por lo que en determinados casos también estará indicada la realización de un hemograma o la determinación de hormonas tiroideas. Otros parámetros como el colesterol o la glucosa permiten estratificar el riesgo de presentar cardiopatía isquémica en deportistas de mayor edad.

i. Otras pruebas diagnósticas

Con todas las pruebas anteriores podemos hacer un diagnóstico cardiológico, o al menos tener una sospecha de lo que le ocurre al deportista que presenta una disminución del rendimiento. Sin embargo, en ocasiones es necesario completar el estudio con la realización de otras pruebas más complejas, necesarias para descartar patología cardíaca. Pruebas como pueden ser la cardiopunción, el estudio de perfusión miocárdica, el angioTAC, estudios electrofisiológicos, cateterismo cardíaco o estudios genéticos exigen que el deportista sea derivado a otros Centros que dispongan de estas técnicas y sean altamente especializados.

3.2 Informe médico deportivo

Tras la valoración del deportista se emite un informe médico confidencial dirigido al Servicio Médico de la Federación, al que puede tener acceso el propio deportista, con información clínica y del estado de adaptación al entrenamiento. Por un lado se valora la presencia de patologías o alteraciones que contraindiquen o supongan una limitación para la práctica deportiva, y por otro lado la adaptación cardiaca en relación con su modalidad deportiva y su evolución en el tiempo.

Una variable importante en este sentido es el Volumen Telediastólico del Ventrículo Izquierdo corregido por Superficie Corporal (VTDVI/SC, ml/m^2), dado que el tamaño del corazón está en relación con el tamaño del sujeto. En base a la experiencia de nuestro centro, se clasifica la adaptación cardiaca de tipo aeróbico en: muy escasa (VTDVI/SC $<60 \text{ ml}/\text{m}^2$), escasa (VTDVI/SC $60\text{-}69,9 \text{ ml}/\text{m}^2$), aceptable (VTDVI/SC $70\text{-}79,9 \text{ ml}/\text{m}^2$), buena (VTDVI/SC $80\text{-}99,9 \text{ ml}/\text{m}^2$) o muy buena (VTDVI/SC $>100 \text{ ml}/\text{m}^2$). Sin embargo, como la adaptación cardiaca de tipo aeróbico depende de la modalidad deportiva practicada, siempre hay que tener en cuenta si dicha adaptación es acorde a la modalidad deportiva, pudiendo, por ejemplo, considerarse normal tener una escasa adaptación cardiaca de tipo aeróbico en deportes donde ésta es menos importante, como es el caso de lanzadores, gimnastas o de deportistas de tiro olímpico.

En una muestra que comprende 3.747 deportistas distintos valorados en el Centro de Medicina del Deporte del CSD la media de VTDVI/SC fue de $76,5 + 13,1 \text{ ml}/\text{m}^2$ en varones y $68,7 + 10,7 \text{ ml}/\text{m}^2$ en mujeres. En las Figuras 2 y 3 se presentan los valores medios del VTDVI/SC + 1 ds, obtenidos en distintas modalidades deportivas, tanto en varones como en mujeres.

Figura 2: Volumen telediastólico de ventrículo izquierdo corregido por superficie corporal en varones. (Media \pm desviación standard).

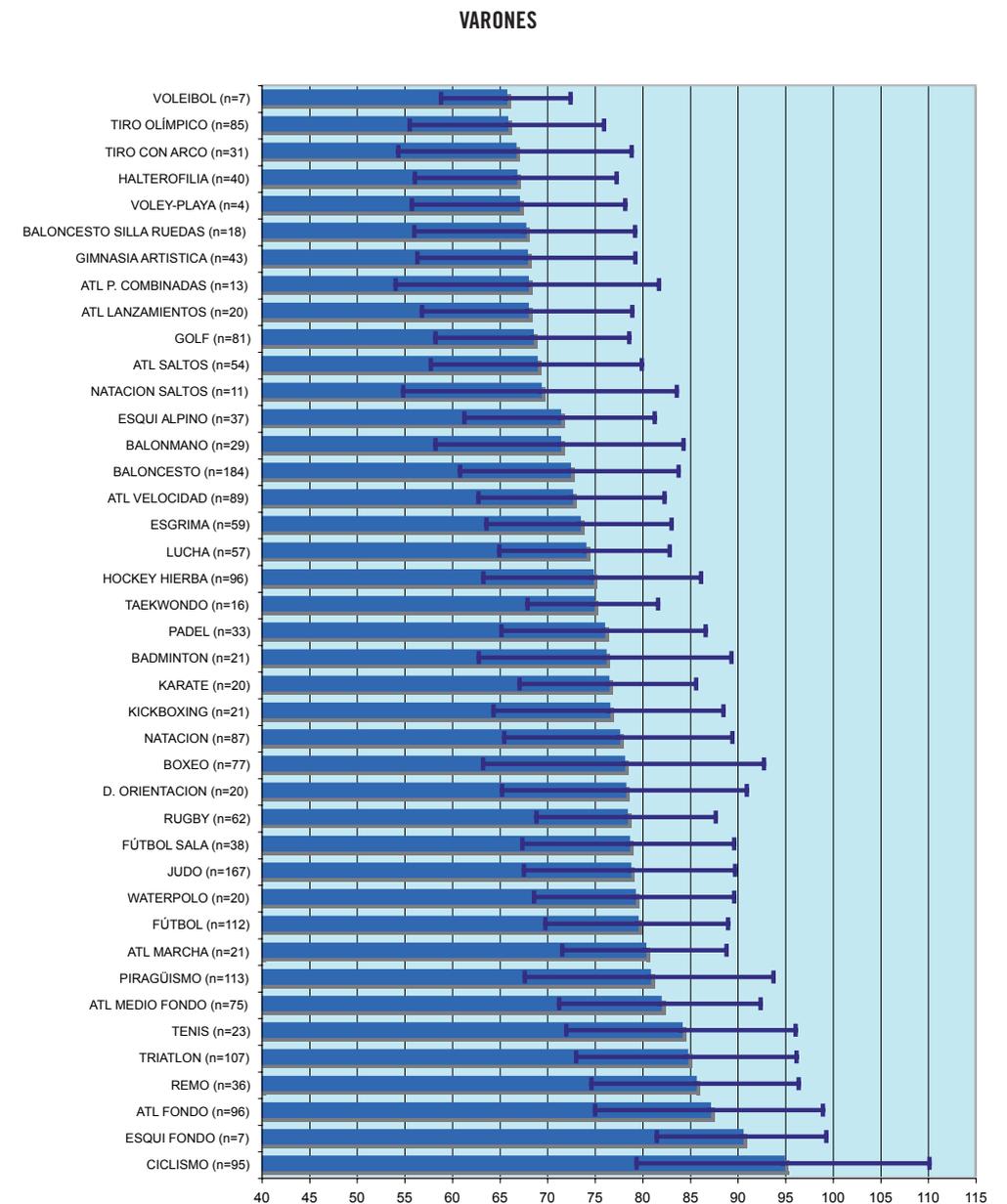
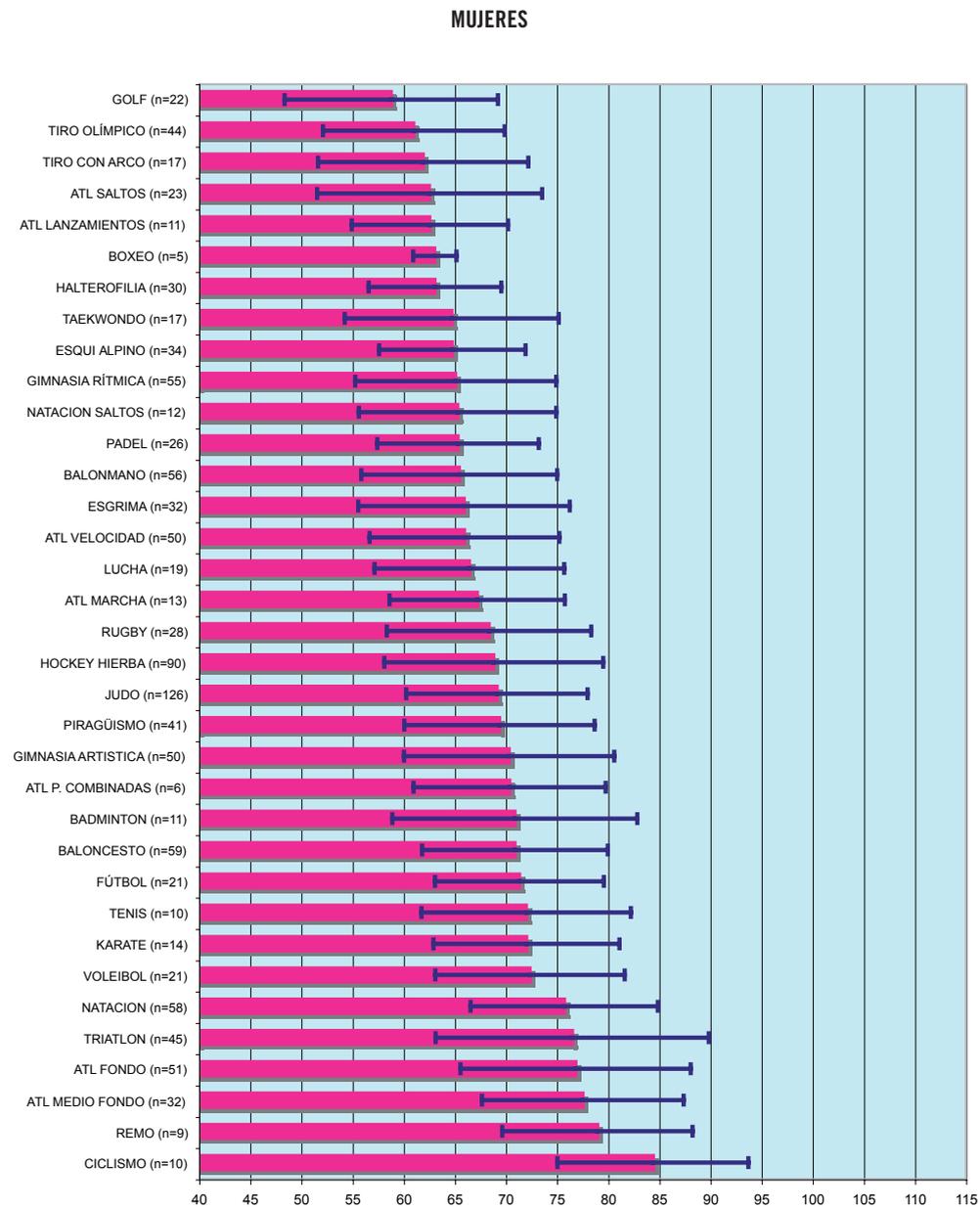


Figura 3: Volumen telediastólico de ventrículo izquierdo corregido por superficie corporal en mujeres. (Media±desviación standard).

Como se puede observar los valores de VTVDI/SC son superiores en deportes donde la capacidad aeróbica es predominante, como es el caso del ciclismo, el atletismo de fondo y medio fondo, el triatlón y el remo; mientras que los valores mas bajos se observan en deportes como el tiro olímpico, el tiro con arco, la halterofilia y el atletismo modalidad de lanzamientos. También se puede ver que en cada modalidad deportiva los valores que presentan los varones son ligeramente superiores a los de las mujeres, excepto en tres casos; en gimnasia artística, atletismo en pruebas combinadas y voleibol. En los dos últimos casos podría deberse al escaso tamaño de la muestra, mientras que en el caso de la gimnasia podría deberse a un sesgo debido al tamaño de las gimnastas femeninas.

La realización de ecocardiogramas seriados a lo largo de la temporada permitiría analizar los cambios en las dimensiones ventriculares y auriculares, espesores parietales, volumen latido y en los parámetros de función sistólica y diastólica en función de las cargas de entrenamiento realizadas. Sin embargo, esto no es práctica habitual y su realización suele ser como parte de estudios de investigación debido a la dificultad que supone coordinar estos controles con los ciclos de entrenamiento y el calendario de competiciones.

Por otro lado, aunque son necesarios estudios que lo confirmen, la experiencia de nuestro centro parece sugerir que en deportes de alta demanda cardiovascular, una vez alcanzada una potencia aeróbica máxima óptima, la dimensión del ventrículo izquierdo no parece experimentar mayor dilatación a pesar de continuar con el entrenamiento a alta intensidad, produciéndose en estos casos un aumento de la masa ventricular izquierda a expensas de ligeros incrementos en los espesores parietales. Sin embargo, las aurículas sí muestran mayor dilatación en su dimensión superoinferior. El mayor volumen de las aurículas unido a la distonía neurovegetativa asociada a la práctica de deportes predominantemente aeróbicos durante muchos años y a alta intensidad, justifican que las arritmias supraventriculares sean más frecuentes en los deportistas veteranos.

3.3 Casos clínicos

A continuación se describen tres ejemplos de deportistas valorados en el Centro de Medicina del Deporte del CSD en los que se detectaron alteraciones atribuidas al entrenamiento/ejercicio en la valoración cardiológica realizada.

Caso 1: Fatiga cardiaca con alteración de la función diastólica

Atleta de fondo, mujer de 30 años, remitida por los Servicios Médicos de la Real Federación Española de Atletismo (RFEA) por encontrarse muy cansada en el último mes, habiendo tenido que reducir notablemente los entrenamientos en los últimos 15 días.

En el estudio ecocardiográfico el ventrículo izquierdo presenta una contractilidad en el límite alto de la normalidad (FEVI del 73%) y el patrón de llenado ventricular izquierdo está alterado (tiempo de desaceleración de la onda E en el límite inferior de la normalidad, tiempo de relajación isovolumétrica alargado y relación E/A disminuida). Estos hallazgos son propios de una situación hiperdinámica con disfunción diastólica y compatibles con fatiga cardiaca subaguda. Se le aconseja reducir aun más la carga de entrenamiento o incluso si fuera necesario no entrenar durante unos días.

En el control realizado 15 días después, la mejoría clínica subjetiva de la deportista se acompaña de un mayor volumen de ventrículo izquierdo, una normalización del estado contráctil y de los parámetros de función diastólica, considerándose resuelto el episodio de fatiga cardiaca

Tabla 1: Valores ecocardiográficos durante un episodio de fatiga cardiaca y una vez superado el mismo.

	Fatiga	15 días después
SIV (mm)	10,5	9,4
Dd (mm)	49,7	53,9
Pp (mm)	9,68	9,12
VTDVI_SC (ml/m ²)	72,3	87,2
FE	73%	66%
E/A	1,07	1,44
TDE (mseg)	150	180
TRI (mseg)	120	75

SIV= Espesor del septo interventricular; Dd= Dimensión diastólica del ventrículo izquierdo; Pp= Espesor de la pared posterior; VTDVI_SC= Volumen telediastólico del ventrículo izquierdo corregido por superficie corporal; FE= Fracción de eyección; E/A= Relación entre el pico de la onda E y el de la onda A, del flujo de llenado mitral; TDE=Tiempo de desaceleración de la onda E; TRI= Tiempo de relajación isovolumétrica.

Caso 2: Disminución de la fracción de eyección en relación con asincronía mecánica del Ventrículo izquierdo

Mujer de 15 años que practica gimnasia rítmica. No refiere síntomas. Acude al Centro de Medicina del Deporte del CSD para la realización de un reconocimiento médico-deportivo poco después de su llegada al Centro de Alto Rendimiento de Madrid (CAR), donde entrena hasta 7 horas diarias.

Los datos hallados en el ecocardiograma muestran una cavidad ventricular izquierda pequeña con un VTDVI/SC muy pequeño, un desplazamiento diastólico precoz del septo interventricular, y una contractilidad global ligera-moderadamente deprimida. La asincronía mecánica y el escaso volumen del Ventrículo izquierdo, junto con la fracción de eyección disminuida sugieren una mala adaptación y posible fatiga cardiaca, por lo que se aconseja disminuir la carga de entrenamiento y revisión en 3 semanas.

En el control realizado 3 semanas después puede observarse una normalización de la fracción de eyección, aunque persiste la asincronía y el bajo volumen del Ventrículo izquierdo, por lo que se aconseja iniciar programa de ejercicio aeróbico con el objetivo de mejorar su adaptación cardiaca de tipo aeróbico.

Dos meses después, puede verse una clara mejoría del volumen del Ventrículo izquierdo con desaparición del desplazamiento diastólico precoz del septo interventricular.

Tabla 2: Evolución en el tiempo de distintos parámetros en una gimnasta con mala adaptación al entrenamiento.

	Llegada a CAR	3 sem después	2 meses después
Edad	15	15	16
Peso (Kg)	57,8	----	57
Talla (cm)	177,5	----	177
SIV (mm)	6,99	6,97	7,29
Dd (mm)	42,2	42,2	46,3
Pp (mm)	6,77	7,29	7,48
VTDVI_SC (ml/m ²)	46,2	46,2	57,9
EDD	Si	Si	No
FE Teichholz	43%	55%	58%
FE Simpson	50%	----	----
AI-si (mm)	46,3	----	50,7
AD-si (mm)	50,1	----	54,1
E/A	1,64	1,69	1,80

SIV= Espesor del septo interventricular; Dd= Dimensión diastólica del ventrículo izquierdo; Pp= Espesor de la pared posterior; VTDVI_SC= Volumen telediastólico del ventrículo izquierdo corregido por superficie corporal; EDD= Movimiento diastólico precoz del SIV por asincronía mecánica; FE= Fracción de eyección por los métodos de Teichholz y Simpson; AI-si= Dimensión superoinferior de la aurícula izquierda; AD-si= Dimensión superoinferior de la aurícula derecha; E/A= Relación entre el pico de la onda E y de la onda A, del flujo de llenado mitral.

Caso 3: Modificación de datos ecocardiográficos en relación con ascenso a una montaña de > 8000 m.

Varón alpinista de 70 años que realiza un ascenso al Karakorum alcanzando la cima el día 3 de agosto de 2009 y teniendo que realizar a continuación un descenso muy rápido y complicado, con climatología adversa, en el que presentó disnea, molestias torácicas y una disminución de 6 kg de peso.

El día 19 de agosto de 2009 acude para valoración cardiológica, presentando una disminución del volumen del Ventrículo izquierdo respecto al control previo realizado en febrero del mismo año, aumento del tiempo de relajación isovolumétrica y de la presión sistólica pulmonar, y un gasto cardiaco anormalmente bajo. Estos hallazgos se ponen en relación con deshidratación y compatibles con fatiga cardiaca subaguda secundario a mal de altura. Se le aconseja realizar una buena reposición hidroelectrolítica, ejercicio físico a intensidad ligera-moderada y un nuevo control ecocardiográfico en un mes.

Acude el día 7 de octubre de 2009 presentando un aumento de 5,6 Kg de peso, así como una mejoría de todas las variables ecocardiográficas alteradas en el control realizado en agosto.

Tabla 3: Evolución de los parámetros ecocardiográficos en un alpinista: control previo, durante el episodio de fatiga cardiaca y una vez recuperado del mismo.

	5/2/2009	19/8/2009	7/10/2009
Peso	59,9	55,9	61,5
SIV (mm)	11,1	11,4	10,1
Dd (mm)	52,2	46,6	53,5
Pp (mm)	10,6	10,7	10
VTDVI_SC (ml/m ²)	79,3	62,7	82,5
FE	78%	70%	73%
TDE (mseg)	230	220	190
E/A	1,1	1,0	1,7
TRI (mseg)	95	120	80
GC (l/min)	6,93	3,87	7,51
PSP (mmHg)	---	46	32

SIV= Espesor del septo interventricular; Dd= Dimensión diastólica del ventrículo izquierdo; Pp= Espesor de la pared posterior; VTDVI_SC= Volumen telediastólico del ventrículo izquierdo corregido por superficie corporal; FE= Fracción de eyección por el método de Teichholz; TDE=Tiempo de desaceleración de la onda E; E/A= Relación entre el pico de la onda E y de la onda A, del flujo de llenado mitral; TRI= Tiempo de relajación isovolumétrica; GC= Gasto cardiaco; PSP= Presión sistólica pulmonar.

3.4 Conclusiones

La cardiología del deporte permite realizar una valoración del estado de salud del deportista, detectando patologías que pueden suponer una contraindicación o limitación para la práctica del deporte, o que pueden limitar su capacidad física. Una vez descartadas patologías que pueden poner en peligro la vida del deportista, debe tenerse en cuenta que la presencia de ciertas anomalías cardiacas puede limitar la obtención de un rendimiento deportivo óptimo y que en determinados casos pueden mejorar con un tratamiento adecuado.

En segundo término, las pruebas realizadas nos permiten valorar el grado de adaptación cardiovascular al ejercicio. En este sentido debe recordarse que el entrenamiento aeróbico mantenido en el tiempo puede producir una serie de modificaciones tanto en el ECG como en las variables obtenidas en el ecocardiograma.

Aunque han sido descritas diversas alteraciones cardiológicas en relación con el sobreentrenamiento, los estudios publicados hasta ahora generalmente están realizados con un escaso número de deportistas, y además pueden estar sesgados por la dificultad a la hora de definir con exactitud el síndrome de sobreentrenamiento. Debemos tener en cuenta que cuando hablamos de síndrome de sobreentrenamiento probablemente nos estamos refiriendo a distintos mecanismos fisiológicos por los que el deportista no asimila bien las cargas de entrenamiento, y en función del tipo de mecanismo alterado serán distintos los hallazgos encontrados en las pruebas diagnósticas. Por lo tanto, es necesario promover la investigación en las ciencias del deporte, implicando a todas las partes (deportistas, entrenadores, servicios sanitarios, etc.), con el fin esclarecer los mecanismos cardiológicos implicados en el sobreentrenamiento y poder corroborar con evidencia científica los hallazgos descritos hasta la fecha.

- Boraita Pérez, A. ; Lamiel Alcaine, R. Pruebas complementarias en cardiología II: Ecocardiografía-doppler. En: *Manual de valoración funcional*. Segovia, J.V. ; Silvarrey, J. ; Legido Arce, J.C. 2ª ed. Barcelona: Elsevier, 2008, 75–92.
- Boraita, A. ; Serratos, L. ; Lamiel, R. ; Santaella, O. Ecocardiografía del deportista. En: *Cardiología del deporte*. Manonelles, P.; Boraita, A.; Luengo, E.; Pons.; C. Barcelona: Nexus médica, 2005, 125–148.
- Lehmann, M. ; Foster, C. ; Netzer, N. ; Lormes, W. ; Steinacker, J.M. ; Liu, Y. ; Opitz-Gress, A. ; Gastmann, U. Physiological responses to short and long term overtraining in endurance athletes. En: *Overtraining in sport*. Kreider, R.B. ; Fry, A.C. ; O'Toole, M.L. Champaign: Human kinetics, 1998, 19–46.
- Maron, B.J. ; Pelliccia A. The heart of trained athletes: cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death. *Circulation*. 114 (15):1633–1644, 2006.
- Neilan, T.G. ; Januzzi, J.L. ; Lee-Lewandrowski, E. ; Ton-Nu, T.T. ; Yoerger, D.M. ; Jassal, D.S. ; Lewandrowski, K.B. ; Siegel, A.J. ; Marshall, J.E. ; Douglas, P.S. ; Lawlor, D. ; Picard, M.H. ; Wood, M.J. Myocardial injury and ventricular dysfunction related to training levels among non-elite participants in the Boston marathon. *Circulation*. 114 (22): 2325–2333, 2006.
- Neilan, T.G. ; Yoerger, D.M. ; Douglas, P.S. ; Marshall, J.E. ; Halpern, E.F. ; Lawlor, D. ; Picard, M.H. ; Wood, M.J. Persistent and reversible cardiac dysfunction among amateur marathon runners. *Eur Heart J*. 27 (9): 1079–1084, 2006.
- O'Toole, M.L. Overreaching and overtraining in endurance athletes. En: *Overtraining in sport*. Kreider, R.B.; Fry, A.C. ; O'Toole, M.L. Champaign: Human kinetics; 1998, 3–17.
- Rabadán, M. ; Boraita, A. ; Canda, A. ; Rubio, S. Objetivos y protocolos de exploración ecocardiográfica en deportistas de alta competición. *Selección*. 2 (4):204–212, 1993.
- Rowbottom, D.G. ; Keast, D. ; Morton, AR. Monitoring and preventing of overreaching and overtraining in endurance athletes. En: *Overtraining in sport*. Kreider, R.B. ; Fry, A.C. ; O'Toole, M.L. Champaign: Human kinetics, 1998, 47–66.
- Serratos, L. ; Boraita, A. Adaptaciones cardiovasculares crónicas a la actividad física. En: *Cardiología del deporte*. Manonelles, P.; Boraita, A.; Luengo, E.; Pons.; C. Barcelona: Nexus médica, 2005, 27–40.
-

4. EL PROBLEMA DE LA MUERTE SÚBITA EN EL DEPORTE

Araceli Boraita Pérez
M^a Eugenia Heras Gómez

Los casos de muerte súbita ocupan los titulares de la prensa deportiva especialmente cuando ocurren en deportistas bien entrenados con un excelente rendimiento deportivo y que desgraciadamente desconocían que eran portadores de manera silente de enfermedades cardiovasculares potencialmente letales, a pesar de haber sido sometidos a distintos controles médicos durante su vida deportiva. En los últimos años se han identificado varias de las distintas enfermedades cardiovasculares que con mayor frecuencia son responsables de la muerte súbita de deportistas bien entrenados o de individuos jóvenes aparentemente sanos.

Por muerte súbita se entiende aquella que aparece de forma inesperada, por causa natural, no traumática ni violenta, y en un corto periodo de tiempo. En niños y adolescentes puede producirse sin que aparezcan síntomas premonitorios. Se considera relacionada con el ejercicio cuando los síntomas aparecen durante o en la hora siguiente a la práctica deportiva ⁽¹⁾.

4.1 Mecanismos favorecedores

Existen datos que nos sugieren que el deporte incrementa sensiblemente el riesgo de sufrir una muerte súbita durante la realización de una actividad deportiva intensa. La distribución estacional y su mayor frecuencia en determinadas horas del día apoyan este hecho. En los deportistas de competición, entendiéndose por deportista de competición aquel que participa en un deporte organizado, las muertes ocurren con mayor frecuencia durante el otoño y la primavera, estaciones en las que se celebran mayor número de competiciones, y en las primeras horas de la tarde coincidiendo con las horas en las que se desarrollan mayoritariamente los eventos deportivos, mientras que en los deportistas de tipo recreacional las muertes ocurren en las primeras horas de la mañana y en las últimas horas de la tarde, coincidiendo con los momentos del día en que más se realizan estas actividades ⁽²⁾. Además, las personas que practican actividad deportiva intensa presentan una incidencia mayor de muerte súbita que las no deportistas, 2,3 muertes por 100.000 versus 0,7 por 100.000 ⁽³⁾.

Los principales mecanismos involucrados guardan relación con los cambios hemodinámicos y electrofisiológicos que se producen durante el ejercicio, que además pueden ser distintos según el tipo de ejercicio realizado. La actividad deportiva induce una serie de adaptaciones morfológicas y funcionales en el corazón humano directamente relacionadas con el tipo, duración e intensidad del entrenamiento, y con los años de práctica deportiva. Su expresión clínica depende de factores genéticos, metabólicos, humorales, y en gran medida del tipo de entrenamiento.

Durante el ejercicio físico se produce un aumento de las catecolaminas circulantes, que además se ve incrementado por el estrés que genera la competición y que exagera las respuestas de la tensión arterial, la frecuencia cardíaca, y la contractilidad miocárdica con el consiguiente incremento del consumo de O₂ miocárdico. Por otra parte, la estimulación simpática puede por sí sola favorecer la aparición de arritmias o agravar una situación de isquemia miocárdica subyacente. Los cambios ambientales extremos (temperatura, altitud, barométricos, etc.) y/o el estrés añadido que se genera en deportes con elevado componente emocional (golf, tiro, etc.), pueden incrementar significativamente la demanda miocárdica de O₂ y el riesgo de muerte súbita en deportistas susceptibles ⁽⁴⁾.

4.2 Prevalencia

Afortunadamente la incidencia de muerte súbita en deportistas es baja, se estima que afecta a 1/280.000 corredores/año en participantes en carreras populares menores de 30 años y de 1/18.000 corredores/año en el grupo de 25 a 75 años⁽⁵⁾. En los más jóvenes la incidencia es menor, habiéndose estimado en tan sólo 1/200.000/año en un grupo de deportistas de educación secundaria^(6,7), siendo diez veces más frecuente en los varones incluso después de ajustar por la frecuencia de participación en eventos deportivos.

La patología cardiovascular, al igual que en la población que no practica deporte, es la causa más frecuente de muerte súbita. Entre el 74 y 94% de las muertes no traumáticas ocurridas durante la práctica deportiva son debidas a causas cardiovasculares^(8,9).

La edad no solo condiciona la prevalencia de muerte súbita sino también la causa del fallecimiento, teniendo este hecho gran trascendencia a la hora de diseñar pruebas para valorar el riesgo en grandes grupos de población de deportistas. Aunque hay autores que colocan el dintel en los 30 años⁽¹⁰⁾, 35 parece ser la edad que separa dos grupos bien diferenciados.

4.2.1 Causas de muerte súbita en deportistas jóvenes (menores de 35 años)

El riesgo de muerte súbita en este grupo de edad es excepcionalmente pequeño, pero cuando ocurre siempre es inesperado y con gran repercusión en los medios de comunicación. Se estima que la incidencia es de 1/133.000 varones/año y 1/769.000 mujeres/año, de las que sólo 1 de cada 10 está asociada con el deporte⁽⁷⁾. Aunque debido a su relativa baja frecuencia es difícil disponer de datos de muerte súbita en deportistas jóvenes, parece evidente que las causas son generalmente congénitas y casi nunca de origen isquémico^(4, 6, 10). En las series americanas la causa más frecuente de muerte súbita fue la miocardiopatía hipertrófica (MCH), siendo la principal causa de muerte súbita en los individuos de raza negra (48% versus 26% en los de raza blanca)⁽²⁾. El resto de las causas viene representado por un amplio abanico de enfermedades cardiovasculares estructurales en muchos casos de naturaleza congénita.

Otras causas mucho más raras de muerte en el deportista joven son los síndromes arritmogénicos, las malformaciones vasculares cerebrales, el asma bronquial y el síndrome de commotio cordis. Este extraño fenómeno merece una mención especial porque se asocia con muerte súbita en los niños y en los deportistas muy jóvenes, por debajo de los 20 años. La muerte se produce por un impacto directo no penetrante en el tórax sobre la región cardiaca, con un objeto contundente que actúa a modo de proyectil, en personas susceptibles y en un momento concreto del ciclo cardiaco. En estos casos no existe una cardiopatía de base y no se encuentra una causa estructural que favorezca la muerte. Varios son los posibles mecanismos implicados en este síndrome: apnea, excesivo reflejo vaso-vagal, vasoespasmos y arritmia ventricular primaria. Inicialmente fueron descritos 25 casos de parada cardiaca inexplicada y en ninguno se apreció que el golpe fuera de magnitud suficiente como para causar la muerte. A partir de los datos del "U.S. Commotio Cordis Registry" se han identificado 124 casos de los cuales sólo el 14% de las víctimas han sobrevivido al commotio cordis gracias a rápidas maniobras de resucitación cardiopulmonar⁽⁸⁾.

Sin embargo, las estadísticas del continente europeo muestran resultados sensiblemente diferentes. Por un lado aparece la miocarditis como la principal causa de fallecimiento en deportistas de orientación suecos^(12,13), y por otro la displasia arritmogénica es la causa más frecuente en los deportistas italianos. Este estudio fue realizado en la región italiana del Veneto entre 1979 y 1996, y de los 49 casos de muerte súbita (44 varones y 5 mujeres) ocurridos en deportistas de competición menores de 35 años, la displasia arritmogénica del ventrículo derecho aparece como la causa más frecuente (22,4%), seguida de la arteriosclerosis coronaria (18,4%) y del origen anómalo de las arterias coronarias (12,2%)⁽³⁾.

En España, en el estudio de M.P. Suarez-Mier y B. Aguilera⁽¹⁰⁾, en los menores de 30 años, aunque no se determinó la causa del fallecimiento en más del 30% de los casos, la patología predominante fue la miocardiopatía arritmogénica (21,8%) que, al igual que en las series italianas, mostró una significación estadística con respecto al grupo de la misma edad que no practicaba deporte. Este hallazgo viene a corroborar que el deporte es un factor de riesgo en los pacientes con esta

enfermedad. A diferencia de las series del norte de Europa la miocarditis sólo estuvo presente en el grupo de no deportistas y las anomalías de las arterias coronarias (segunda causa de muerte en las series americanas y tercera en las italianas) presentaron una escasa prevalencia, sólo 2 casos. Estas diferencias probablemente se deban por un lado a que son órganos procedentes de autopsias judiciales remitidos por los médicos forenses en las que estas patologías fueron previamente diagnosticadas, y por otro al ser un estudio anatomopatológico, en el que se desconoce los antecedentes clínicos, patologías como el síndrome de QT largo y de Wolf-Parkinson-White, la fibrilación ventricular idiopática, el fenómeno por commotio cordis o la anafilaxia inducida por el ejercicio, no puedan ser diagnosticadas incluyéndose en el grupo de origen indeterminado.

Figura 1. Causas de muerte súbita en deportistas según la edad.

MS deporte en España, 1995-2001

61 casos 59 varones y 2 mujeres

Patología	< 30 años %	> 30 años %
Enf. Ateromatosa	6.2 (2)	79 (23)
MCA	21.8 (7)	10.3 (3)
MCH HVI idiopática	6.2 (2)	6.8 (1v, 1m)
A. cong. a. coronarias	6.2 (2)	–
Patología aórtica	6.2 (2)	–
Indeterminada	31,2 (9v, 1m)	

30% causa indeterminada

Suárez-Mier MP y Aguilera B. Rev Esp Cardiol 2002; 55: 347-58

MCA = Miocardiopatía arritmogénica; MCH = Miocardiopatía hipertrófica; HVI = Hipertrofia ventricular izquierda; A. cong. a. coronarias = Anomalía congénita de las arterias coronarias; v = varones; m = mujeres.

Figura 2. Causas de muerte súbita en deportistas jóvenes.

Causas de MS en deportistas < 35 a

	Maron (1985/1995)	Van Camp (1983-93)	Corrado (1979-96)	Waller Meta-Anal.	Suárez y Aguilera
MS	158 (90% V)	136 (84% V)	49 (89% V)	103 (88% V)	61 (96% V)
MCH	36% (+10%)	51%	2%	28%	6.2%
A. arterias coronarias	24%	16%	12.2%	32%	6.2%
Patología aórtica	9%	8%	2%	3%	6.2%
MCA	3%	1%	22.4%	–	21.8%

MS= Muerte súbita; MCH = Miocardiopatía hipertrófica; A. arterias coronarias = Anomalía de las arterias coronarias; MCA = Miocardiopatía arritmogénica; V = varones.

4.2.2 Causas de muerte súbita en deportistas mayores de 35 años

En el grupo de deportistas mayores de 35 años, la cardiopatía isquémica es la primera causa de fallecimiento, demostrándose en más del 90% de los casos una coronariopatía. Aunque existe evidencia de que el ejercicio físico de resistencia ejerce un efecto protector para el desarrollo de arterioesclerosis coronaria y que la probabilidad de padecer cardiopatía isquémica es menor en los que practican deporte, el riesgo de sufrir un accidente cardiovascular es mayor durante o inmediatamente después del ejercicio^(5,12).

Figura 3. Causas de muerte súbita en deportistas mayores de 35 años.

Causas de MS en deportistas > 35 a

	Waller	Northcote
MS	74	60
CI	96%	85%
MCH	3%	2%
Enf. valvular	–	7%

Northcote RJ et al. Br Heart J 1986;55:198-203
Waller BF. Cardiovascular evaluation of athletes. Laennec Publishing 1993; 1-16

MS= Muerte súbita; CI = Cardiopatía isquémica; MCH = Miocardiopatía hipertrófica.

Figura 4. Causas más frecuentes de muerte súbita en deportistas jóvenes.

Causas de MS en < de 35 a

- Miocardiopatía hipertrófica
- Miocardiopatía arritmogénica
- Anomalía congénita de las arterias coronarias
- Patología aórtica
- Miocarditis
- Síndromes arritmogénicos:
 - Síndrome de Brugada
 - QT largo, QT corto
 - Síndrome de Wolf-Parkinson-White
 - FV idiopática, catecolaminérgica
- Malformaciones vasculo-cerebrales
- Asma/Anafilaxia ejercicio
- Comotio cordis

4.3 Abordaje del problema

La prevención de la muerte súbita asociada con el deporte debe asentarse en tres pilares fundamentales:

- El reconocimiento cardiológico pre-participación deportiva (RCPD).
- La instauración de los mecanismos necesarios para una resucitación cardiopulmonar y desfibrilación sin demora.
- La elaboración de registros nacionales, en los que todas las muertes quedaran reflejadas.

4.3.1 El reconocimiento cardiológico pre-participación deportiva (RCPD)

El principal objetivo del reconocimiento cardiológico pre-participación debe ser detectar de forma precoz aquellas patologías cardíacas capaces de constituir un riesgo de muerte súbita. Sin embargo, el RCPD es motivo de controversia en cuanto a los métodos diagnósticos necesarios, su capacidad para detectar sujetos de riesgo y su eficacia para modificar la historia natural de las enfermedades que con mayor frecuencia se asocian a muerte súbita durante la actividad deportiva. Pero fundamentalmente motivos económicos son los que priman a la hora de implantar este tipo de reconocimientos y en algunos países, como EEUU, además no son bien aceptados debido a que los consideran una intromisión en el derecho a la intimidad y libertad de la persona. No obstante, el RCPD reúne las condiciones necesarias para ser considerado de utilidad pública y debería ser promovido desde las Instituciones encargadas de velar por la salud de los deportistas.

A la hora de diseñar un RCPD se debe responder a tres preguntas fundamentales: ¿qué se debe buscar?, ¿qué pruebas debe incluir? y por último ¿cuál es su eficacia?. La primera cuestión tiene una relativa fácil respuesta puesto que entre la gran variedad de cardiopatías descritas como responsables de muerte súbita en el joven deportista algunas ocurren con mayor frecuencia. Mientras que según las observaciones realizadas en autopsias en EEUU, la miocardiopatía hipertrófica y las anomalías coronarias representan cerca de 2/3 de todas las causas de muerte súbita, en Italia ^(3,9) y en España,

según el trabajo de Suárez-Mier y Aguilera ⁽¹⁰⁾ y el Registro de Muerte Accidental y Súbita en el Deporte ⁽¹⁴⁾, la miocardiopatía arritmogénica del ventrículo derecho constituye alrededor de 1/4 de todas las causas. Entre las muchas otras patologías que ocasionalmente son responsables de muerte súbita cardíaca, las menos raras son la miocarditis, las anomalías valvulares (prolapso de la válvula mitral y estenosis aórtica), el síndrome de Marfan y los síndromes del QT largo y de Wolf-Parkinson-White.

En los deportistas mayores no hay duda de que la patología a despistar es la cardiopatía isquémica ^(5,8).

En cuanto a las pruebas que debe incluir y cuál es su eficacia, el reconocimiento ha sido objeto de diversa especulación. Muchos estudios restrictivos se basan en criterios puramente económicos preconizando la realización exclusiva de la valoración de los antecedentes y una exploración clínica, mientras que en el otro extremo se encuentra el modelo de reconocimiento italiano que incluye además un electrocardiograma (ECG) de reposo, una prueba de esfuerzo submáxima y un ecocardiograma.

El protocolo de “*screening*” o “despistaje” (realizar pruebas en gente aparentemente sana para poder identificar personas con un riesgo elevado de adquirir una enfermedad o trastorno) debe ser sencillo para que pueda ser aplicado, pero siempre conservando la capacidad para identificar (o al menos sospechar) la presencia de patología cardíaca de riesgo. La 36ª Conferencia de Bethesda en sus declaraciones científicas respecto al examen cardiovascular pre-participación de deportistas de competición ⁽¹⁵⁾, establecen la necesidad de realizar un estudio de despistaje de enfermedad cardiovascular en los participantes en deportes de competición, que incluya un cuidadoso estudio de la historia personal y familiar y una exploración física diseñada para identificar las lesiones cardiovasculares que pueden provocar muerte súbita o progresión de la enfermedad.

Una exploración física meticulosa puede alertarnos sobre la presencia de ciertas cardiopatías, pero desgraciadamente la mayoría de los deportistas jóvenes con patologías de riesgo son asintomáticos, tienen una exploración normal y presentan un excelente rendimiento deportivo. La inclusión del electrocardiograma de reposo aumenta la probabilidad de

identificar a aquellos sujetos de riesgo, ya que es anormal en el 95% de los casos de miocardiopatía hipertrófica y puede estar alterado en la miocardiopatía arritmogénica y los síndromes del QT largo y de Wolf-Parkinson-White ⁽¹⁶⁾.

Sin embargo, el electrocardiograma no tiene capacidad para detectar las anomalías de las arterias coronarias, por lo que se ha propuesto la inclusión de la ecocardiografía en los protocolos de despistaje de enfermedades cardiovasculares para grandes grupos de población o al menos en deportistas que van a realizar actividad deportiva regular. Algunos autores defienden la realización de un procedimiento de ecocardiografía limitado a las proyecciones del eje longitudinal paraesternal en modo bidimensional considerándolo de mucha utilidad ⁽¹⁷⁾. Las conclusiones son diversas y se basan en criterios económicos y de prevalencia de enfermedad cardiovascular. El modelo italiano, que sin duda es el que tiene la mayor experiencia en el uso extensivo de la ecocardiografía como método de despistaje en deportistas de competición, no tiene conclusiones definidas en este asunto dado que en Italia no existe un registro nacional de los sujetos excluidos de la práctica deportiva por patologías de riesgo ni un registro nacional de muerte súbita.

El hecho de que la causa más frecuente de muerte súbita en relación con el ejercicio en los mayores de 35 años sea la cardiopatía isquémica y la elevada prevalencia de enfermedad cardiovascular en esta población, sugieren que los reconocimientos previos a la práctica deportiva pueden ser efectivos en este grupo de edad. Sin embargo, la baja sensibilidad y especificidad de los ECG de reposo y de esfuerzo hacen que tampoco exista unanimidad de criterios en este grupo.

Los resultados de la experiencia italiana permiten extraer algunas consideraciones sobre la eficacia del *screening* en la identificación de sujetos con riesgo. La miocardiopatía hipertrófica aparece en una proporción sorprendentemente baja entre los deportistas fallecidos súbitamente en Italia en comparación con las estadísticas de los EEUU y tal discrepancia de resultados no es debida a la menor prevalencia de la enfermedad sino que probablemente se deba a la exclusión para la práctica deportiva de sujetos con esta cardiopatía. En lo referente a la miocardiopatía arritmogénica del ventrículo

derecho, el *screening* parece, sin embargo, tener menos eficacia. La incidencia de esta patología es mayor entre los deportistas fallecidos súbitamente que entre los no deportistas, hallazgo que se ratifica en los resultados de Suárez-Mier y Aguilera y en el Registro de muerte Accidental y Súbita en el Deporte^(10,14). Sin embargo, la mayor parte de los deportistas fallecidos súbitamente presentan anomalías relevantes en la anamnesis, en el examen clínico o el ECG, pero el médico examinador no es capaz de acertar en el diagnóstico probablemente porque ni siquiera llega a sospechar o indagar la presencia de esta miocardiopatía. Parece razonable pensar que una mayor información sobre las características de esta patología, hasta el momento poco conocida, pudiera mejorar la eficacia del reconocimiento^(18,19).

En lo que respecta a las anomalías congénitas de las arterias coronarias, la valoración del despistaje resulta ciertamente desalentadora. La historia familiar es negativa, rara vez se encuentran síntomas y sólo una minoría presenta anomalías en el ECG. El hallazgo en vida de tales anomalías es verdaderamente excepcional por lo que parece razonable que el diagnóstico pueda escapar al médico examinador. Además en estos sujetos el ECG de esfuerzo no suele evidenciar signos de isquemia, sino más bien arritmias ventriculares. Por otro lado, conviene recordar que el ecocardiograma permite visualizar el ostium y el curso proximal de las coronarias epicárdicas, por lo que puede ser un método diagnóstico simple y resolutivo⁽²⁰⁾.

Teniendo en cuenta los resultados del Registro de Muerte Súbita en el Deporte⁽¹⁴⁾ los reconocimientos médicos actuales realizados en España resultan insuficientes para detectar las patologías más frecuentes de muerte súbita asociadas con el deporte, por tanto, teniendo en cuenta las recomendaciones de las Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología del año 2000⁽²¹⁾, el RCPD debería ser específico para cada grupo de edad y nivel de práctica deportiva, debiendo incluir siempre un "cuestionario de salud", una historia clínica con una anamnesis detallada, una exploración cardiovascular metódica y un ECG. En el deporte organizado y de recreación intenso debería incluir en los deportistas jóvenes un ecocardiograma, y en los mayores, una prueba de esfuerzo máxima.

4.3.2 Resucitación cardiopulmonar y desfibrilación

La identificación de los sujetos con riesgo permitirá apartarlos de la práctica deportiva con el fin de reducir tal riesgo y posiblemente prevenir una muerte súbita. Pero desafortunadamente la muerte súbita es un fenómeno constatado y en estrecha relación cronológica con la actividad deportiva (la mayoría de los eventos ocurren durante o inmediatamente después del entrenamiento o la competición). Por tanto, aunque el abordaje cultural y legislativo es muy diferente en cada país, se debería establecer a nivel Institucional la normativa necesaria para llevar a cabo una resucitación cardiopulmonar rápida y eficaz. Esto supondría la difusión entre la población deportiva de las maniobras de resucitación cardiopulmonar básica y la instalación de desfibriladores semiautomáticos en todos los lugares donde se concentran las actividades deportivas, los polideportivos, gimnasios, campus universitarios, etc.

4.3.3 Registro de muerte súbita

Además, todas las muertes deberían quedar incluidas en un Registro Nacional de Muerte Súbita en el Deporte, por lo que la autopsia debería realizarse a todos los deportistas que fallecen súbitamente, y los forenses tendrían que concienciarse en enviar la suficiente información clínica y anatomopatológica macro y microscópica, de tal manera que se evitaran sesgos y los datos tuvieran valor estadístico y epidemiológico. Esto permitiría avanzar en el conocimiento de este fenómeno y optimizar los procedimientos necesarios para prevenirlo.

1. Boraita Pérez, A.; Serratos, L. Muerte súbita en el deportista: Requerimientos mínimos antes de realizar deporte de competición. *Rev. Esp. Cardiol.* 52 (12): 1139-1145, 1999.
2. Maron, B.J.; Shirani, J.; Poliac, L.C.; Mathenge, R.; Roberts, W.C.; Mueller, F.O. Sudden death in young competitive athletes: Clinical, demographic and pathological profiles. *J. AM. Med. Assoc.* 276 (3): 199-204, 1996.
3. Corrado, D.; Basso, C.; Rizzoli, G.; Schiavon, M.; Thiene, G. Does sports activity enhance the risk of sudden death in adolescents and young adults. *J. Am. Coll. Cardiol.* 42 (11): 1959-1963, 2003.
4. Futterman, L.G.; Myerburg, R. Sudden death in athletes: An update. *Sports Med.* 26 (5): 335-350, 1998.
5. MacAuley, D. Does preseason screening for cardiac disease really work?: the British perspective. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (10 suppl): 345-350, 1998.
6. Maron, B.J.; Gohman, T.E.; Aeppli, D. Prevalence of sudden cardiac death during competitive sports activities in Minnesota high school athletes. *J. Am. Coll. Cardiol.* 32 (7): 1881-1884, 1998.
7. Maron, B.J. Medical progress: Sudden death in young athletes. *N. Engl. J. Med.* 349 (11): 1064-1075, 2003.
8. Maron, B.J. Scope of the problem of sudden death in athletes: Definitions, epidemiology and socio-economic implications. En: *Arrhythmias and sudden death in athletes*. Bayes de Luna, A.; Furlanello, F.; Maron, B.J.; Zipes, D.P.(eds) Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000.
9. Basso, C.; Corrado, D.; Thiene, G. Cardiovascular causes of sudden death in young individuals including athletes. *Cardiol. Rev.* 7(3): 127-135, 1999.
10. Suárez Mier, M.P.; Aguilera, B. Causas de muerte súbita asociada al deporte en España. *Rev. Esp. Cardiol.* 55 (4): 347-358, 2002.
11. Van Camp, S.P.; Bloor, C.M.; Mueller, F.O.; Cantu, R.C.; Olson, H.G. Nontraumatic sports death in high school and college athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 (5): 641-647, 1995.
12. Jensen Urstad, M. Sudden death and physical activity in athletes and nonathletes. *Scand J. Med. Sci. Sports.* 5 (5): 279-284, 1995.
13. Weslen, L.; Pahlson, C.; Lindquist, O.; (et al). An increase in sudden unexpected cardiac deaths among young Swedish orienteers during 1979-92. *Eur. Heart J.* 17 (6): 902-10, 1996.
14. Manonelles, Marqueta, P.; Aguilera, Tapia, B.; Boraita, Pérez, A.; Pons Beristain, C.; Suarez Mier, M.P. Estudio muerte súbita en deportistas españoles. *Investigación cardiovascular.* 9 (1): 55-73, 2006.
15. Maron, B.J.; Douglas, P.S.; Nishimura, R.A.; Graham, T.P.; Thompson, P.D. 36th Bethesda Conference. Task force 1: Preparticipation screening and diagnosis of cardiovascular disease in athletes. *J. Am Coll. Cardiol.* 45 (8): 1312-1375, 2005.
16. Corrado, D.; Pelliccia, A.; Bjørnstad, H.H.; Vanhees, L.; Biffi, A.; Borjesson, M.; Panhuyzen Goedkoop, N.; Deligiannis, A.; Solberg, E.; Dugmore, D.; Mellwig, K.P.; Assanelli, D.; Delise, P.; Van Buuren, F.; Anastasakis, A.; Heidbuchel, H.; Hoffmann, E.; Fagard, R.; Priori, S.G.; Basso, C.; Arbustini, E.; Blomstrom Lundqvist, C.; McKenna, W.J.; Thiene, G. Cardiovascular pre-participation screening of young competitive athletes for prevention of sudden death: proposal for a common European protocol. *Eur. Heart J.* 26 (5): 516-524, 2005.
17. Weidenbener, E.J.; Krauss, M.D.; Waller, B.F.; Taliercio, C.P. Incorporation of screening echocardiography in the preparticipation exam. *Clin. J. Sport Med.* 5 (2): 86-89, 1995.

18. Pelliccia, A.; di Paolo, F.M.; Quattrini, F.M.; Basso, C.; Culasso, F.; Popoli, G.; de Luca, R.; Spataro, A.; Biffi, A.; Thiene, G.; Maron, B.J. Outcomes in athletes with marked ECG repolarization abnormalities. *N. Engl. J. Med.* 358 (2): 152-161, 2008.
19. Corrado, D.; Biffi, A.; Basso, C.; Pelliccia, A.; Thiene, G. 12-lead ECG in the athlete: physiological versus pathological abnormalities. *Br. J. Sports.* 43 (9): 669-676, 2009.
20. Boraita Pérez, A. Muerte súbita y Deporte. ¿Hay alguna manera de prevenirla?. *Rev. Esp. Cardiol.* 55 (4): 333-336, 2002.
21. Boraita Pérez, A.; Baño, A.; Berrazueta, J.R.; Lamiel, R.; Luengo, E.; Manonelles, P.; (et al). Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología sobre la actividad física en el cardiópata. *Rev. Esp. Cardiol.* 53 (5): 684-726, 2000.

5. LA ERGOESPIROMETRÍA EN EL ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO

La prueba de esfuerzo o ergometría desde la perspectiva médico-deportiva es una exploración clínica que nos permite valorar cómo es la respuesta del organismo durante la realización de ejercicio físico. Consiste en la aplicación de una carga de trabajo, medible, dosificable, fiable y reproducible, que somete al organismo a un estrés físico-psíquico que podemos cuantificar mediante la valoración de parámetros biológicos. Esta sería la respuesta del organismo que correlacionamos con la carga de trabajo aplicada en cada momento durante la prueba.

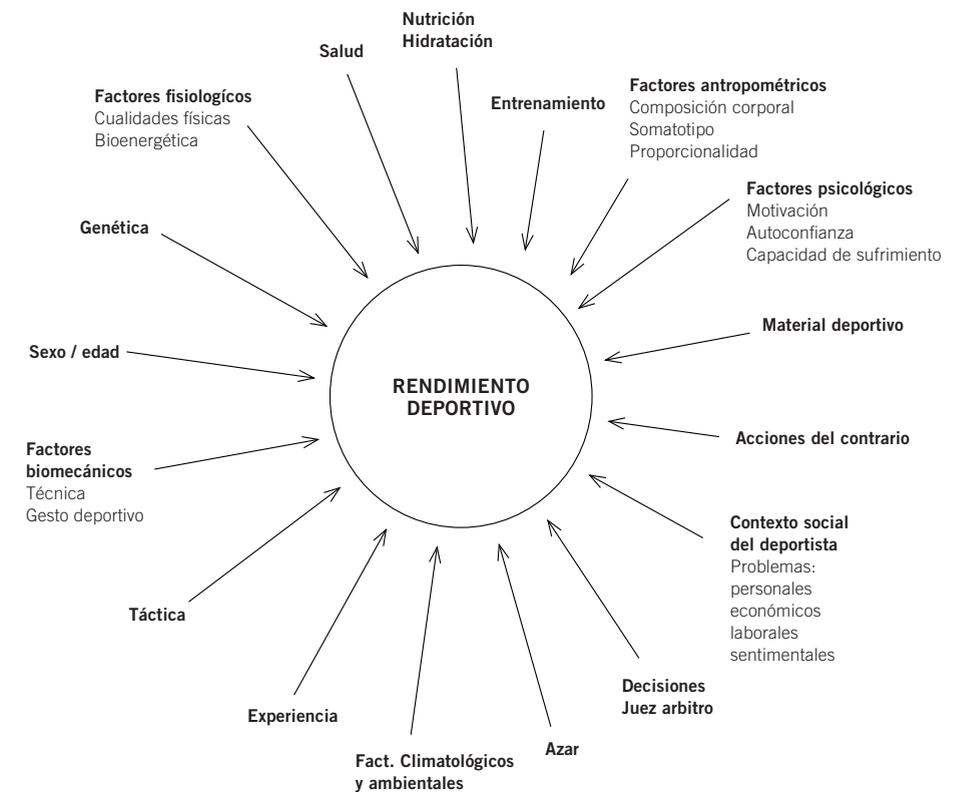
La ergoespirometría podríamos definirla como una prueba de esfuerzo en la que utilizamos sistemas de medida del intercambio gaseoso respiratorio y de la ventilación pulmonar. Nos permite evaluar la respuesta del sistema de transporte de oxígeno y del metabolismo energético durante el ejercicio físico. A ella nos vamos a referir en este capítulo y por lo tanto a la valoración de la vía aeróbica de obtención de energía y a las zonas de transición metabólicas, umbrales aeróbico y anaeróbico.

La ergoespirometría con análisis directo del consumo de oxígeno (VO_2) es la forma objetiva de cuantificar la capacidad funcional del deportista. El VO_2 representa el funcionamiento integrado de los diferentes aparatos y sistemas del organismo para el mantenimiento de las funciones vitales, para el desarrollo de la vida cotidiana y para la práctica de ejercicio físico en sus distintos niveles de volumen e intensidad.

El deporte de alto nivel exige un importante entrenamiento físico tanto en volumen como en intensidad. La competición somete al organismo a un gran esfuerzo fisiológico, psicológico y biomecánico lo cual hace recomendable un seguimiento médico y así lo recomiendan multitud de Sociedades científicas y Comisiones médicas de Organismos deportivos internacionales.

El deporte de alto nivel está unido y es inseparable del rendimiento deportivo, de los resultados. Aunque son muchos los factores que influyen en el rendimiento (Figura 1), la salud podríamos considerarla como un factor necesario e imprescindible para rendir físicamente al máximo. Por otra parte la adecuada programación del entrenamiento con una prescripción individualizada de las cargas favorece una mejor asimilación del mismo facilitando la optimización del rendimiento deportivo. La ergoespirometría es de utilidad en ambos aspectos relacionados con la salud y con el entrenamiento.

Figura 1. Factores que influyen en el rendimiento deportivo.



5.1 Objetivos de la realización de una ergoespirometría

Los objetivos de la realización de una ergoespirometría en deportistas son los siguientes:

- Estudiar la respuesta-adaptación al ejercicio de los diferentes aparatos y sistemas del organismo.
- Objetivar procesos patológicos que no aparecen en reposo.
- Determinación objetiva de la capacidad funcional.
- Prescripción de la intensidad de las cargas de entrenamiento.
- Control y planificación del entrenamiento.
- Valorar la evolución del deportista en distintos momentos de la temporada.
- Ajuste del ritmo de competición en pruebas de larga duración.
- Valoración de un inesperado bajo rendimiento.
- Definir el perfil fisiológico y elaborar valores de referencia para las diferentes especialidades deportivas.
- Estudio y seguimiento de deportistas con cardiopatías.
- Estudiar el comportamiento en esfuerzo de los cambios electrocardiográficos en reposo típicos del deportista.
- Valoración inicial en los reconocimientos de aptitud para la práctica deportiva.

En resumen, la ergoespirometría aporta información sobre el estado de salud del deportista y sobre aspectos relacionados con la condición física y la prescripción de ejercicio, siendo un apoyo científico al proceso del entrenamiento.

5.2 Material y personal necesario para la realización de una ergoespirometría

La sala para la realización de la ergoespirometría debe estar ubicada en un lugar de fácil acceso y con posibilidad de una rápida evacuación. Los deportistas al realizar una ergoespirometría tienen un riesgo potencial de complicaciones y hay que tenerlo en cuenta al pensar en la ubicación de la sala. Es recomendable una habitación amplia y bien ventilada con una temperatura entre 20-22° C y una humedad relativa del 40-60%.

Si se dispone de ergómetros muy pesados (tapices rodantes especiales para deportistas) es preferible utilizar una planta baja o un sótano para ubicar la sala de esfuerzo, con objeto de que la estructura del edificio soporte bien el peso y no se corran riesgos de vibración ni hundimiento. Debemos asegurar un acceso a la sala amplio para introducir los aparatos, si es posible directamente desde la calle, para evitar pasillos y puertas estrechas. Dentro de la sala de esfuerzo evitaremos los escalones y si hay varios niveles en la misma, utilizaremos rampas de forma que los aparatos puedan moverse si fuera necesario con facilidad. La altura de la sala debe ser suficiente como para poder realizar ergoespirometría a deportistas de estatura elevada teniendo en cuenta un posible incremento de la pendiente del tapiz rodante.

El material necesario para la realización de la ergoespirometría es el siguiente:

- a. **Ergómetro:** La moderna valoración funcional tiende a reproducir el gesto biomecánico del deportista para favorecer la motivación del mismo y buscar la mayor especificidad. El ergómetro ideal debe permitir programar un esfuerzo progresivo con un rango amplio de intensidades de ejercicio y una calibración precisa. El ergómetro más utilizado es el tapiz rodante ya que la carrera es un gesto biomecánico natural, que no requiere habilidades motrices especiales, siendo un ejercicio dinámico en el que se movilizan grandes grupos musculares (Figura 2). El tapiz rodante utilizado en deportistas es recomendable que tenga como mínimo una superficie útil de 2 m. de largo por 0,60 m. de anchura, y que alcance una velocidad de 26 km/h. y una pendiente del 24 %. Existen tapices especiales adaptados para realizar ergoespirometría a deportistas en silla de ruedas, con sistemas de seguridad que impide los movimientos laterales de la silla. Para estos

deportistas con una discapacidad física también se puede utilizar un ergómetro de brazos. Los inconvenientes del tapiz rodante son su coste elevado, las limitaciones de espacio, el mayor ruido, cierta sensación de inseguridad en la estabilidad del individuo (mayor riesgo de caídas) y los posibles artefactos en el registro electrocardiográfico y la dificultad en la toma de la tensión arterial por el movimiento del sujeto, en especial en los protocolos en los que se incrementa la carga de trabajo fundamentalmente a expensas de aumentar la velocidad.

Figura 2. Prueba de esfuerzo en tapiz rodante.

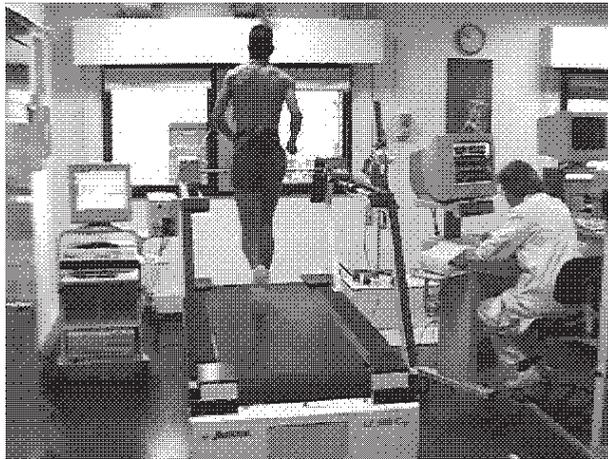


Figura 3. Prueba de esfuerzo en cicloergómetro.



El cicloergómetro es otro de los ergómetros más utilizados (Figura 3). Sus ventajas son su especificidad para ciclistas, la adquisición de un buen registro electrocardiográfico, la estabilidad del paciente durante el test, la posibilidad de valorar la tensión arterial y la lactacidemia sin pausas en el protocolo, sus dimensiones más reducidas que el tapiz rodante, su precio más económico y el menor ruido durante la prueba. Los cicloergómetros de freno electromagnético (carga aplicada independiente de la frecuencia de pedaleo) son los indicados para valorar a deportistas ya que permite que cada sujeto mantenga su frecuencia óptima de pedaleo para cada carga de trabajo. Es el ergómetro de elección para la valoración de ciclistas, triatletas (cuando queramos transferir los resultados al entrenamiento en bicicleta) y para aquellos deportistas que por su elevado peso corporal es difícil su adaptación al tapiz rodante (algunos deportistas de categoría de peso pesado en judo, halterofilia, etc.). También es de utilidad para la ergoespiometría en deportistas hipertensos en los cuales nos interesa valorar la respuesta tensional durante el ejercicio (también es útil el tapiz rodante pero con protocolos adecuados, en los que no se incremente en exceso la velocidad), o en pruebas de valoración con ecocardiografía de esfuerzo.

Los cicloergómetros para la valoración de deportistas deben permitir aplicar una carga de hasta 650 vatios, con frecuencia de pedaleo libre (se acepta un rango amplio de pedaleo que es variable en función de la carga aplicada). El cicloergómetro debe tener sillín, pedales y manillar semejante al utilizado por los deportistas en sus propias bicicletas con objeto de permitir una buena adaptación al ergómetro y así poder desarrollar el esfuerzo en las mejores condiciones biomecánicas posibles.

Los ciclosimuladores son un tipo especial de cicloergómetro que permiten realizar ergoespiometría en la propia bicicleta del deportista consiguiendo una mayor especificidad desde el punto de vista biomecánico.

Para algunas modalidades deportivas existen ergómetros específicos que reproducen el gesto deportivo. Algunos de los utilizados habitualmente son el ergómetro específico de piragua (en sus modalidades de kayak y canoa) y el remoergómetro. Para la valoración de nadadores existen piscinas ergométricas

que permiten mediante un sistema de turbina ofrecer una corriente de flujo laminar cada vez mayor al nadador con objeto de que éste tenga que realizar un mayor esfuerzo para no ser desplazado por dicha corriente.

b. Analizador de gases respiratorio o ergoespirómetro: Los equipos de ergoespirometría están compuestos por un sistema de medida de la ventilación pulmonar (neumotacógrafo, turbina, flujómetro de masas, transductor de volumen digital triple V) y por analizadores de gases respiratorios para el oxígeno y para el dióxido de carbono. Los actuales ergoespirómetros disponen de analizadores de gases de rápida respuesta midiendo respiración a respiración (Figura 4). Para el posterior tratamiento de los datos es recomendable promediar los resultados cada 10 a 15 segundos. Los analizadores de gases respiratorios llevan integrado una estación meteorológica que cuantifica la temperatura, la presión barométrica y la humedad relativa. De no ser así deberíamos disponer de una en la sala de esfuerzo.

Figura 4. Ergoespirometría con análisis directo del intercambio de gases respiratorio y monitorización ECG de 12 derivaciones.



c. Electrocardiógrafo de esfuerzo: Equipo necesario para registrar, controlar, y analizar la respuesta de la frecuencia cardiaca así como para detectar la aparición de algún trastorno electrocardiográfico o arritmias. La monitorización electrocardiográfica (ECG) recomendable es disponer de las 12 derivaciones habituales (I,II,III, aVR, aVL, aVF, V_{1...6}). Es conveniente una señal ECG informatizada y promediada para evitar el ruido muscular y estabilizar la desviación del ST. Los equipos que guardan el registro ECG de la prueba de esfuerzo en memoria son los más interesantes porque permiten valorar posteriormente la prueba en detalle. Es recomendable utilizar electrodos desechables con buena adhesividad con núcleo de cloruro de plata bañado en gel sólido en la zona de contacto con la piel. Los electrodos no deben ser muy grandes para que se puedan colocar adecuadamente en el lugar preciso incluso en deportistas jóvenes y con tórax pequeño. Los cables serán ligeros, flexibles y no muy largos. El módulo de adquisición de datos del equipo de ECG de esfuerzo debe ser también ligero pues el deportista lo llevará ajustado mediante una correa a su cintura. Deberá estar protegido de la humedad de la sudoración pues podría crear interferencias o producir una avería en el equipo (Figura 4).

d. Analizador de lactato: Nos permitirá cuantificar la lactacidemia como parámetro metabólico indicativo de la participación de la vía energética anaeróbica láctica en el esfuerzo realizado. Se deberá disponer del material necesario para la extracción de la muestra de sangre y su posterior análisis. La valoración de la lactacidemia en el contexto de la ergoespirometría es opcional, siendo útil para la determinación de los umbrales por el método metabólico y para medir los valores de lactato máximo y la capacidad de recuperación.

e. Equipo de medición de la tensión arterial: El mejor sistema para medir la tensión arterial es el método auscultatorio con esfigmomanómetro.

f. Material de urgencia: Debemos disponer en la sala de esfuerzo de una camilla, un desfibrilador, una toma de oxígeno y el material y la medicación de urgencia necesarios para la reanimación cardiopulmonar, así como para atender otras posibles eventualidades durante la prueba de esfuerzo

(arritmias, crisis hipertensivas, baches hipotensivos, angina de pecho, broncoespasmo).

En cuanto al personal necesario, la prueba de esfuerzo debe estar supervisada por un médico que será el responsable de la interpretación clínica y de los parámetros biológicos monitorizados durante el ejercicio. Como mínimo habrá, como personal técnico o de enfermería, otra persona que se ocupará de la preparación del deportista y de la obtención durante la prueba de algunas variables biológicas como la tensión arterial, extracción de micromuestra de sangre para el análisis de lactacidemia, etc. El personal que realice una prueba de esfuerzo debe estar entrenado en las técnicas de reanimación cardiopulmonar.

5.3 Metodología de la ergoespirometría

5.3.1 Previo a la realización de la Ergoespirometría

Antes de realizar la ergoespirometría deberíamos plantearnos una serie de cuestiones que influirán en la metodología a seguir y en la interpretación de los resultados (Tabla 1). Deben analizarse la historia clínica (Tabla 2) y deportiva (Tabla 3), el objetivo, el ergómetro, el protocolo de esfuerzo y los parámetros a medir. Una exploración física y un electrocardiograma en reposo son básicos para completar la valoración inicial previa a la realización de la ergoespirometría.

Tabla 1. Aspectos previos a plantearse antes de realizar una prueba de esfuerzo.

PERSONA A LA QUE SE REALIZA LA PRUEBA DE ESFUERZO

- Historia clínica.
- Historia deportiva.
- Exploración física general; Tensión arterial reposo. ECG basal.
- Valoraciones funcionales previas que permita evaluar la evolución.

OBJETIVOS DEL TEST

- Valoración estado salud.
- Valoración funcional.
- Prescripción de ejercicio.
- Optimización rendimiento deportivo.
- Según el objetivo: indicaciones y contraindicaciones del test.

ERGÓMETRO

- Tapiz rodante / Cicloergómetro / Ergómetros específicos.

PROTOCOLO

- Según persona a valorar y objetivo del test.

PARÁMETROS A MEDIR

- Ergoespirométricos; Cardiológicos; Metabólicos; Mecánicos.
- Otros parámetros: Sensación subjetiva de esfuerzo (escala RPE), EMG.

APLICACIÓN PRÁCTICA

- Comunicación con entrenadores y deportistas.

Tabla 2. Historia clínica.

<u>Motivo petición prueba de esfuerzo</u>	
<u>Antecedentes familiares:</u>	Historia familiar de muerte súbita Miocardiopatía hipertrófica Cardiopatía isquémica Cardiopatías congénitas Diabetes Hipertensión arterial Hipercolesterolemia familiar
<u>Antecedentes personales:</u>	Factores de riesgo cardiovascular: varón, tabaco, hipertensión arterial, diabetes, hipercolesterolemia, personalidad tipo A, sedentarismo
<u>Anamnesis:</u>	Dolor precordial Presíncope, síncope Palpitaciones Disnea desproporcionada al nivel de ejercicio

Tabla 3: Historia deportiva.

Deporte practicado/Especialidad o puesto de juego/Prueba/Otros deportes	
Datos de entrenamiento:	años de entrenamiento, días/semana, horas/día, kilómetros/semana. Calentamiento. Estiramientos. Volumen/Intensidad. Entrenamiento días anteriores.
Marcas deportivas:	absoluta y mejor del año. Mejores resultados en competiciones
Momento de la temporada:	descanso, pretemporada, temporada, competición.
Nivel:	aficionado, profesional. Competición local, regional, nacional, internacional
Categoría:	infantil, cadete, juvenil, senior, veterano
Entrenador	
Otros datos:	hora última comida, lesiones último año Información test de valoración previo

Como requisitos previos a la realización de la ergoespirometría el deportista habrá descansado lo suficiente el día anterior, no debe haber ingerido alimentos de 2 a 3 horas antes, ni tomado estimulantes de ningún tipo (café, cola, té, etc.), ni habrá modificado su alimentación significativamente los días precedentes. El sujeto debe acudir a la realización de la prueba con ropa y calzado deportivo. El laboratorio de ergoespirometría debe presentar un ambiente tranquilo con presencia del personal especializado exclusivamente. Se debe explicar al deportista en qué consiste la prueba y antes de la realización de la misma descansará en decúbito supino durante 5-10 minutos. Anotaremos la hora de la prueba con objeto de poder comparar los resultados con pruebas posteriores que deberán realizarse a la misma hora del día. La prueba de esfuerzo es una exploración con un riesgo potencial de complicaciones, por lo que se requiere cumplimentar un consentimiento informado. El riesgo de infarto de miocardio o arritmias significativas al que se somete una persona al realizar una P.E. es de 1 por cada 2.500 sujetos. El riesgo de fallecimiento es de 1 por cada 10.000 pruebas.

Antes de iniciar la ergoespirometría debemos también calibrar el analizador de gases respiratorio. Este debe estar encendido al menos 20-30 minutos antes de realizar la calibración que debe abarcar los siguientes aspectos:

- Condiciones ambientales: medición automática por el equipo o bien estación meteorológica externa e introducir los datos de temperatura, presión barométrica y humedad relativa del aire.
- Calibración del sistema de medida del volumen de aire o volumen ventilado. La calibración puede realizarse manualmente introduciendo un volumen de aire conocido a través de una jeringa de calibración de entre 2-3 l. de volumen. Se realizan un determinado número de emboladas con dicha jeringa y el equipo va midiendo simultáneamente. Según el resultado de dicha medición se aplica un factor de corrección para posteriores medidas. Algunos equipos de ergoespirometría disponen de un sistema de calibración automática del volumen mediante un descompresor explosivo.
- Calibración de los analizadores de gases: el sistema de calibración de los equipos actuales es automática. Se utiliza una botella de gases de calibración con una concentración de oxígeno y dióxido de carbono conocida (gases de referencia

cuyos datos se introducen en el programa de calibración del equipo). Durante la calibración automática de gases se chequea y/o ajusta el cero y la ganancia de los analizadores, el tiempo de respuesta y el retraso de cada analizador, las posibles obstrucciones en la línea de análisis y la presión en la botella de calibración. Durante la calibración el equipo utiliza también la medición del aire ambiente.

5.3.2 Desarrollo de la ergoespirometría

Debemos informar al paciente sobre la prueba que le vamos a realizar.

Prepararemos al paciente para monitorizarlo electrocardiográficamente con las 12 derivaciones convencionales. Para ello colocaremos los electrodos limpiando previamente la piel frotando con algodón empapado en alcohol.

Tras la elección del ergómetro que vamos a utilizar, debemos establecer el protocolo de la ergoespirometría. Los protocolos de esfuerzo son los diferentes modelos estandarizados de combinación de variables de carga (velocidad, pendiente, trabajo realizado o potencia desarrollada, paladas por minuto, etc.) y tiempo de aplicación de esas cargas en los diferentes ergómetros.

Debemos tener en cuenta los siguientes aspectos a la hora de diseñar o elegir un protocolo de esfuerzo:

- El objetivo del test e indicación para realizarlo (¿para qué se hace? y ¿qué información pretendemos obtener?).
- La actividad física o modalidad deportiva realizada por el sujeto, momento de la temporada, su condición física o estado de entrenamiento en el momento de la prueba, la edad, el sexo, el sobrepeso u obesidad, déficits físicos y/o psíquicos (¿a quién se hace?).
- Medios técnicos disponibles para la realización de la prueba y experiencia del equipo que realiza el test.
- Propuestas de protocolo de esfuerzo razonadas por los equipos técnicos de la federación correspondiente o club deportivo.

Los protocolos de esfuerzo pueden ser incrementales (la carga aumenta con el tiempo) o de estado estable (la carga se mantiene constante). Los tests incrementales pueden ser en rampa (la carga aumenta linealmente) o escalonados (la carga aumenta cada cierto tiempo con paradas entre cada escalón –discontinuos- o sin paradas –continuos-).

Debemos programar en una ergoespirometría tres fases en el protocolo: fase de calentamiento, fase de ejercicio y fase de recuperación. La ergoespirometría puede ser máxima o submáxima en función del momento en que demos por finalizada la prueba.

Los protocolos de esfuerzo para deportistas son generalmente incrementales, iniciándose a bajas cargas con aumentos suaves y progresivos. El objetivo de estos tests es valorar la respuesta al ejercicio de una manera controlada, en todo el rango de intensidades de esfuerzo, desde las intensidades más bajas hasta el máximo esfuerzo.

Los protocolos recomendados son los siguientes:

Tapiz rodante:

Test progresivo continuo máximo en rampa:

- 2 minutos iniciales a 4 km·h⁻¹ en mujeres y a 6 km h⁻¹ en varones (pendiente 1%) permiten la adaptación al tapiz rodante y primera toma de contacto con el ergómetro.
- Inicio de la fase de ejercicio a 6 km·h⁻¹ en mujeres y a 8 km· h⁻¹ en varones con incrementos de velocidad de 0,25 km h⁻¹ cada 15 segundos con una pendiente constante del 1%. A partir del minuto 13 de ejercicio se incrementa, también cada 15 segundos, la pendiente un 0,25 % hasta el agotamiento del deportista.
- Las pruebas realizadas a deportistas de alto nivel deben ser máximas, ya que máximos son los esfuerzos que los atletas realizan en algunos entrenamientos y en la competición. Es el propio deportista, cuando considera que ha llegado a su máximo esfuerzo, el que pone fin a la prueba (si no ha sido necesario interrumpir la prueba por algún problema durante la misma), agarrándose y suspendiéndose de las barras laterales del tapiz y apoyándose con los pies en las bandas

laterales de la cinta. Se inicia en este momento el periodo de recuperación activa a 3-4 km·h⁻¹, con objeto de obtener una buena relajación y vuelta a la calma más fisiológica (Tabla 4).

- Para algunas especialidades atléticas como maratón y marcha atlética podemos realizar protocolos especiales en tapiz rodante adaptados a la velocidad de desplazamiento y gesto biomecánico de sus entrenamientos y competiciones respectivas, asegurando de esta manera la especificidad de la valoración y la transferencia de resultados a los entrenamientos (Tablas 5 y 6).
- En deportistas con baja condición física aeróbica se recomienda el protocolo de Bruce en rampa.

Tabla 4. Protocolo de esfuerzo en rampa para tapiz rodante. Test incremental máximo. 1% - 6-8 km·h⁻¹ + 0,25 km·h⁻¹ cada 15 s.

Fase protocolo	Mujer	Varón
Calentamiento -toma contacto ergómetro- 2 min.	Velocidad (km·h ⁻¹)- 4 Pendiente (%)- 1	6 1
Test	Velocidad. inicial- 6 ▲ 0,25 km·h ⁻¹ / 15" Pendiente- 1% ≥ 19 km·h ⁻¹ ▲ 0,25% /15"	8 ▲ 0,25 km·h ⁻¹ / 15" Pendiente- 1% ≥ 21 km·h ⁻¹ ▲ 0,25% /15"
Recuperación activa	4 km·h ⁻¹ -3 min.	4 km·h ⁻¹ -3 min.

Tabla 5. Protocolo de esfuerzo en cinta rodante específico para maratón. Test incremental máximo escalonado discontinuo. 1% - 8 km·h⁻¹ + 2 km·h⁻¹ cada 3 min.

ESTADIO	Calentam.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VELOCIDAD km·h ⁻¹	M 6 V 6	8 8	10 10	12 12	14 14	16 16	18 18	20 20	20 22	20 22	- 22
PENDIENTE %	M 1 V 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	3 1	5 3	- 5
TIEMPO min.	M 1 V 1	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	3 3	1 3	1 1	- 1
LACTICOS mmol·l ⁻¹	-	F.	F.	F.	F.	F.	F.	F.	*	*	*

M: Mujer; V: Varón

F.:Final de cada estadio, toma de micromuestra de sangre para análisis de lactato (30 s. de parada); * Muestra para lactato en el máximo esfuerzo y en recuperación en los minutos 3, 5, 7 y 10.

Tabla 6. Test incremental máximo escalonado continuo. 1%- 7-9 km·h⁻¹ + 0,25 km·h⁻¹ cada 30 s.

Fase protocolo	Mujer	Varón
Calentamiento -toma contacto ergómetro- 2 min.	Velocidad (km·h ⁻¹)- 6 Pendiente (%)- 1	8 1
Test	Velocidad. inicial- 7 ▲ 0,25 km·h ⁻¹ / 30" Pendiente- 1%	9 ▲ 0,25 km·h ⁻¹ / 30" Pendiente- 1%
Recuperación activa	4 km·h ⁻¹ -3 min.	4 km·h ⁻¹ -3 min.

Cicloergómetro:

Test incremental en rampa continuo máximo:

- Periodo inicial previo al test de 1 minuto a 25 vatios.
- Test: carga inicial de 25 vatios con incrementos de 5 vatios cada 12 segundos.
- Frecuencia de pedaleo libre entre 60-90 pedaladas por minuto (cicloergómetro de freno electromagnético).
- Recuperación 3 minutos a 30 vatios.

La finalización de la ergoespirometría se realizará de forma general cuando se haya alcanzado el objetivo marcado. En otras ocasiones la ergoespirometría finaliza por fatiga muscular o por cansancio central cardiorrespiratorio o bien por combinación de ambos. La decisión de finalizar la ergoespirometría la tomará el médico responsable de la prueba, valorando el objetivo del test y sopesando el beneficio-riesgo de continuar con el ejercicio.

No obstante es conveniente establecer unos criterios de interrupción de la ergoespirometría que podemos resumir de la siguiente manera:

Absolutos

- El deseo reiterado del sujeto de detener la prueba.
- Dolor torácico anginoso progresivo.
- Caída o falta de incremento de la tensión arterial sistólica a pesar de aumentar la intensidad de trabajo.
- Arritmias severas/malignas: fibrilación auricular taquicárdica, extrasistolia ventricular frecuente, progresiva y multiforme, rachas de taquicardia ventricular, flutter o fibrilación ventricular.
- Ataxia, mareo o síncope, alteraciones visuales, vértigo, confusión.
- Signos de mala perfusión periférica: palidez, cianosis, piel fría, detención súbita de la sudoración.
- Mala señal electrocardiográfica que impida la valoración del trazado.

Relativos

- Cambios significativos del ST o del QRS (cambios importantes del eje).
- Respuesta hipertensiva: sistólica >250 mmHg; diastólica >115 mmHg.
- Taquicardias no severas, incluyendo las paroxísticas supraventriculares.
- Cansancio, disnea severa desproporcionada al esfuerzo realizado, claudicación.
- Bloqueo de rama que simule taquicardia ventricular.

5.4 Parámetros valorados en una ergoespirometría

Uno de los objetivos de la prueba de esfuerzo es el control y la programación del entrenamiento, es decir, establecer el volumen e intensidad óptimos de las cargas de entrenamiento para obtener el máximo rendimiento deportivo. Para ser eficaz se debe interferir lo menos posible en la dinámica del entrenamiento y los resultados de la prueba de esfuerzo deben aportar una información rápida, clara y relevante para la especialidad deportiva. Sólo de esta manera los resultados se podrán aplicar al entrenamiento con eficacia.

Los parámetros que con mayor frecuencia vamos a valorar en la prueba de esfuerzo figuran en la *Tabla 7*. Son parámetros máximos y submáximos de esfuerzo, en relación a aspectos mecánicos, ergoespirométricos, cardiovasculares y metabólicos.

Tabla 7. Parámetros valorados en la prueba de esfuerzo.

Parámetros mecánicos	Parámetros ergoespirométricos	Parámetros cardiovasculares	Parámetros metabólicos	Variables subjetivas
<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo - Velocidad - Pendiente - Frecuencia palada - Potencia absoluta y relativa 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de oxígeno - Ventilación pulmonar - Frecuencia respiratoria - Producción de CO₂ - Cociente respiratorio - Equivalentes ventilatorios para el O₂ y el CO₂ - Pulso de oxígeno - Presión end tidal de O₂ y de CO₂ - Umbral aeróbico - Umbral anaeróbico 	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia cardiaca - ECG esfuerzo - Tensión arterial 	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración de lactato sanguíneo 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensación subjetiva de esfuerzo (RPE)

5.4.1 Parámetros mecánicos:

Son los parámetros derivados del ergómetro utilizado. Por ejemplo la velocidad y la pendiente del tapiz rodante, la potencia desarrollada y la frecuencia de pedalada en el cicloergómetro. Estos valores mecánicos se relacionarán con los parámetros biológicos medidos en el desarrollo de la prueba de esfuerzo. Nos aportarán información sobre el rendimiento mecánico máximo del deportista y de la eficiencia metabólica a nivel submáximo de ejercicio, relacionando la carga de trabajo con el consumo de oxígeno y con los valores de lactacidemia.

5.4.2 Parámetros ergoespirométricos:

Consumo de oxígeno (VO_2)

Es la cantidad de O_2 utilizado por el organismo por unidad de tiempo y depende del funcionamiento integrado del aparato respiratorio, cardiovascular y metabolismo energético. Se expresa en valor absoluto ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ o $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) o relativo al peso corporal total ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), o en unidades metabólicas o METs. (1 MET=3,5 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). El VO_2 es un indicador del nivel energético-metabólico a que trabaja el organismo. El VO_2 va a depender de factores centrales (corazón y pulmones) y de factores periféricos como la diferencia arterio-venosa de O_2 (dif. a-v O_2). El consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) es la cantidad máxima de O_2 que el organismo es capaz de absorber de la atmósfera, transportar a los tejidos y consumir por unidad de tiempo. El VO_2 máx. es un parámetro que nos indica la capacidad funcional de una persona. Es un parámetro reproducible y su determinación se realiza de una forma fiable y precisa mediante una prueba de esfuerzo incremental con sistema de análisis del intercambio de los gases respiratorios y de la ventilación pulmonar. El VO_2 máx. es variable entre individuos, y depende de la herencia, edad, sexo, peso, grado de entrenamiento y especialidad deportiva practicada. Los deportistas de fondo son los que presentan la mayor capacidad funcional del sistema de transporte de O_2 y por tanto los que alcanzan mayores VO_2 máx., especialmente los remeros, los esquiadores de fondo y los ciclistas.

El VO_2 oscila entre 3,5-5 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en reposo hasta valores de 80-90 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en deportistas varones de alto nivel especializados en fondo.

Ventilación pulmonar o volumen minuto respiratorio (VE)

Los analizadores de gases respiratorios tienen incorporado un sistema de medida que permite la cuantificación del volumen espiratorio por minuto (VE). Los valores de este parámetro están en relación con la edad, el sexo, las características físicas del sujeto, el tipo de ejercicio realizado y el nivel de entrenamiento. Su análisis durante la realización de un ejercicio ergométrico aporta datos de interés acerca de la capacidad ventilatoria del

individuo y de su adaptación respiratoria al esfuerzo. Los valores de ventilación pulmonar oscilan entre 4-8 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ en reposo hasta 150-160 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ en esfuerzo máximo, alcanzando y superando en deportistas de alto nivel con gran capacidad ventilatoria los 200 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$.

Durante ejercicios ligeros o moderados el aumento de la ventilación se debe fundamentalmente a un incremento del volumen corriente o volumen tidal (V_t). Sin embargo en ejercicios intensos en los que se produce una acidosis metabólica, la VE se incrementa de forma desproporcionada respecto al VO_2 , momento en el que el V_t tiende a estabilizarse y se produce un aumento más significativo de la frecuencia respiratoria (FR). Por otra parte el aumento de la ventilación durante la realización de un test de ejercicio incremental, permite determinar dos puntos de ruptura, es decir dos zonas en las que se produce un incremento no lineal de la V_E en relación al VO_2 , y que se definen como umbral ventilatorio 1 (VT_1) y umbral ventilatorio 2 (VT_2).

Frecuencia respiratoria (FR)

Es el número de ciclos respiratorios por minuto. Como se citó anteriormente la taquipnea es un buen índice de acidosis metabólica. Su valor oscila entre 12-14 respiraciones/min en reposo hasta 45-50 en máximo esfuerzo y en ocasiones hasta 70-75.

Producción de dióxido de carbono (VCO_2)

La VCO_2 durante el ejercicio es el resultado del metabolismo aeróbico de los principios inmediatos y de la liberación de CO_2 procedente del sistema tamponador de la acidosis láctica. En ejercicios en que se produce acidosis láctica, se origina un aumento de la VCO_2 en exceso respecto al VO_2 . Este proceso aparece a un nivel de ejercicio más intenso cuando mayor es el nivel de entrenamiento del deportista de forma que, a igual nivel de carga, la eliminación de CO_2 es menor en personas entrenadas y el retorno a la normalidad al cesar el ejercicio es más rápido.

Cociente respiratorio (CR)

El CR es la relación entre la VCO_2 y el VO_2 . Su valor oscila entre 0,7-0,9 en reposo hasta valores superiores a 1,1 que expresa criterio de maximalidad ergoespirométrica. Su análisis nos informa del nivel de tolerancia al esfuerzo y del grado de acidosis láctica durante el ejercicio intenso. La magnitud del CR durante un ejercicio a nivel submáximo permite conocer en cierta medida si es aceptable una carga aún mayor, y a partir del valor obtenido al final del ejercicio y en la recuperación se deduce el nivel de esfuerzo individual alcanzado para cada sujeto. En los ejercicios realizados por encima del umbral anaeróbico, el aumento desproporcionado de la VCO_2 respecto al VO_2 origina un brusco incremento del CR de forma que cuando éste supera la unidad, se puede afirmar que se trata de esfuerzos con un componente anaeróbico importante y próximos al límite del agotamiento. Al cesar el ejercicio el CR continúa inicialmente aumentando debido a una disminución rápida del VO_2 junto con una liberación de lactato de la fibra muscular y una eliminación todavía aumentada de CO_2 . La magnitud de este aumento y el tiempo de retorno a los valores de reposo depende de la intensidad del esfuerzo y del grado de entrenamiento del sujeto.

Equivalentes ventilatorios de oxígeno y de dióxido de carbono

El equivalente ventilatorio para el oxígeno (EqO_2) representa los cm^3 de aire que deben ventilarse para consumir 1 ml de O_2 y al igual que el equivalente ventilatorio para el CO_2 (cociente entre la ventilación pulmonar y la producción de CO_2), es un índice de economía respiratoria o grado de eficiencia de la ventilación. Si los equivalentes ventilatorios son altos nos indica una menor eficiencia de la ventilación. En realidad no se estaría aprovechando el volumen de aire ventilado para mejorar el VO_2 y la VCO_2 . El comportamiento de los equivalentes ventilatorios durante el ejercicio es uno de los criterios más utilizados para la valoración de los umbrales aeróbico y anaeróbico por método ventilatorio.

Pulso de oxígeno (VO_2/FC)

Es el gasto energético o la cantidad de O_2 consumida durante un ciclo cardíaco completo. Según la ecuación de Fick equivale

al producto del volumen sistólico (VS) por la diferencia arterio-venosa de oxígeno en sangre (dif. a-v O_2). Esta ecuación pone de manifiesto la importancia de este parámetro en relación a la función sistólica del corazón. Los valores del pulso de O_2 aumentan con la edad y con el entrenamiento. Un pulso de O_2 elevado significa una buena eficiencia del aparato cardiovascular, un buen aprovechamiento por el organismo del oxígeno transportado por la sangre y movilizado por el corazón en cada volumen latido. Por el contrario valores inferiores a lo normal indican una capacidad física de esfuerzo pequeña.

Presión end tidal de oxígeno y de dióxido de carbono ($PETO_2$ y $PETCO_2$)

Son las presiones de O_2 y de CO_2 al final de la espiración. Su comportamiento durante el ejercicio incremental son utilizadas como criterio de umbral aeróbico y anaeróbico por método ventilatorio.

Umbral aeróbico y umbral anaeróbico

Los umbrales o zonas de transición metabólica son los parámetros submáximos más importantes de una ergoespirometría, siendo indicadores objetivos de la capacidad funcional. Son parámetros reproducibles e independientes de la motivación del sujeto. Su importancia se deriva de su aplicación en la prescripción de la intensidad de ejercicio, de su utilidad en el ajuste del ritmo de competición en pruebas de larga duración y de ser parámetros que se modifican con el entrenamiento y permiten por lo tanto valorar los cambios fisiológicos que se producen con dicho entrenamiento.

En un test de carga progresiva se producen a nivel submáximo dos fenómenos fisiológicos claramente diferenciados:

- Umbral aeróbico: Es la intensidad de ejercicio en la que se produce el inicio en la acumulación de lactato en sangre por encima de los valores de reposo, a la vez que la ventilación se incrementa de una manera desproporcionada con respecto al oxígeno consumido. Hasta ese nivel de ejercicio los valores de lactato son similares a los basales, y existe una relación lineal

entre la ventilación y la carga de trabajo, todo ello indicativo de una participación predominante de la vía aeróbica en la obtención de energía. También se denomina umbral láctico y el umbral ventilatorio 1 (VT_1).

- Umbral anaeróbico: Es la intensidad de ejercicio que metabólicamente corresponde a un máximo estado estable del lactato en sangre. Refleja el máximo equilibrio entre la producción y aclaramiento del lactato. A ese nivel de ejercicio la ventilación se incrementa nuevamente de forma desproporcionada en relación al oxígeno consumido. También se denomina OBLA y umbral ventilatorio 2 (VT_2).

Los criterios para la determinación de los umbrales por el método ventilatorio se muestran en la *Tabla 8*.

Tabla 8. Criterios de determinación de los umbrales ventilatorios.

<p>UMBRAL AEROBICO, UMBRAL VENTILATORIO 1 (VT_1):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Primer incremento no lineal de la ventilación - Aumento de la relación VE/VO_2 sin aumento simultáneo de VE/VCO_2 - Elevación de la $PETO_2$ sin disminución de la $PETCO_2$
<p>UMBRAL ANAEROBICO, UMBRAL VENTILATORIO 2 (VT_2):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Segundo incremento no lineal de la ventilación - Aumento no lineal de la relación VE/VO_2 con aumento simultáneo de VE/VCO_2 - Elevación de la $PETO_2$ y disminución de la $PETCO_2$

VE/VO_2 : Equivalente ventilatorio de oxígeno

VE/VCO_2 : Equivalente ventilatorio de dióxido de carbono

$PETO_2$: Presión end tidal de oxígeno

$PETCO_2$: Presión end tidal de dióxido de carbono

Los datos que debemos valorar en relación a los umbrales son los siguientes:

- * Umbral aeróbico, VT_1 :
 - Consumo de oxígeno: $VO_2 VT_1$ en $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$
 - Porcentaje del $VO_2 VT_1$ en relación al VO_2 máx. alcanzado (% VO_2 máx.)
 - Frecuencia cardiaca: FC VT_1 en $lat \cdot min^{-1}$
 - Porcentaje de la FC VT_1 en relación a la F.C. máx. alcanzada (%FC máx.)
 - Lactacidemia
 - Tiempo: representa el minuto de prueba en que aparece el VT_1
 - Velocidad en Km/h y el tiempo que corresponde a esa velocidad recorrer 1000 m. (T/1000 m.)
 - Pendiente del tapiz rodante (Pte %)
 - Potencia desarrollada en el ergómetro en valor absoluto y relativo al peso corporal (Pot. w. y w/kg.)
 - Equivalentes ventilatorios de oxígeno y de dióxido de carbono (VE/VO_2) (VE/VCO_2)
 - Pulso de oxígeno (VO_2/FC)

- * Umbral anaeróbico, VT_2 :
 - Consumo de oxígeno: $VO_2 VT_2$ en $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$
 - Porcentaje del $VO_2 VT_2$ en relación al VO_2 máx. alcanzado (% VO_2 máx.)
 - Frecuencia cardiaca: FC VT_2 en $lat \cdot min^{-1}$
 - Porcentaje de la FC VT_2 en relación a la F.C. máx. alcanzada (%FC máx.)
 - Lactacidemia
 - Tiempo: representa el minuto de prueba en que aparece el VT_2
 - Velocidad en Km/h y el tiempo que corresponde a esa velocidad recorrer 1000 m. (T/1000 m.)
 - Pendiente del tapiz rodante (Pte %)
 - Potencia desarrollada en el ergómetro en valor absoluto y relativo al peso corporal (Pot. w. y w/kg.)
 - Equivalentes ventilatorios de oxígeno y de dióxido de carbono (VE/VO_2) (VE/VCO_2)
 - Pulso de oxígeno (VO_2/FC)

5.4.3 Parámetros cardiovasculares:

Frecuencia cardiaca (FC)

Es el parámetro que cuantifica la intensidad del esfuerzo físico a nivel cardiovascular. Su valoración en la prueba de esfuerzo permite realizar una transferencia del esfuerzo realizado en el laboratorio al terreno deportivo. Cada vez con más frecuencia los deportistas utilizan pulsómetros para controlar la FC en sus entrenamientos. En la prueba de esfuerzo se controla la FC en cada nivel de carga de trabajo, la que corresponde a los umbrales aeróbico y anaeróbico, la FC máxima y la FC en la recuperación hasta al menos el minuto 5 post-esfuerzo.

Registro electrocardiográfico de esfuerzo (ECG esf.)

Es necesario para la valoración de arritmias y de la cardiopatía isquémica durante el ejercicio y es útil para valorar la evolución de los cambios ECG que pudiéramos encontrar en reposo. Disponer de un registro de calidad es básico para su adecuada valoración. Para ello se debe realizar la preparación cutánea (depilación y limpieza de la zona con alcohol) y la colocación correcta de los electrodos. Es recomendable monitorizar las 12 derivaciones del ECG convencional. Otras derivaciones muy útiles para monitorizar durante el ejercicio son CM5 y CC5.

Aunque el ECG de esfuerzo lo visualizaremos durante toda la prueba, recomendamos registrar los siguientes ECG:

- Previo a la prueba de esfuerzo: ECG en reposo y decúbito supino; ECG en bipedestación y ECG tras hiperventilación de 15-20 s.
- Durante la prueba: al final de cada estadio (si es protocolo en rampa cada 2-3 minutos), en el máximo esfuerzo o en el momento de finalizar la prueba.
- En la recuperación de la prueba de esfuerzo: en el minuto 1, 3 y 5 post-esfuerzo.

Se recomienda como mínimo mantener la monitorización ECG de esfuerzo hasta el minuto 5 post-ejercicio aunque se mantendrá el tiempo necesario en caso de interés por la clínica, hallazgos ECG o patología del deportista.

Tensión arterial sistólica y diastólica

La valoración de la tensión arterial durante el ejercicio y en la recuperación es un indicador de la respuesta hemodinámica del aparato cardiovascular durante el ejercicio. La tensión arterial sistólica aumenta durante el ejercicio siendo normal hasta valores de 230 mmHg. La tensión arterial diastólica durante el ejercicio no tiene grandes variaciones respecto a la de reposo. Puede permanecer inalterable, puede disminuir en ejercicios prolongados con sudoración y vasodilatación periférica y puede aumentar ligeramente, como respuesta normal, hasta 20-30 mmHg respecto a la basal, siempre que no supere 95-100 mmHg. En la recuperación se debe controlar la tensión arterial hasta que se normalicen los valores o al menos tengan una tendencia a la normalización respecto a los valores de reposo. Se suele tomar la tensión arterial en los minutos 1,3, y 5 ó bien en el 2 y 4 de la recuperación.

5.4.4 Parámetros metabólicos:

Lactato sanguíneo

Su medición nos aporta información sobre la participación del metabolismo anaeróbico láctico en el esfuerzo realizado.

De esta forma podemos valorar el umbral láctico, el máximo estado estable del lactato en sangre, la tolerancia a la acidosis láctica y la capacidad de recuperación después de un ejercicio de alta intensidad. Durante el test incremental valoramos el comportamiento del lactato a cada intensidad de ejercicio y su evolución tanto en ejercicio como en recuperación. La cifra de lactato en el máximo estado estable es un parámetro individual de cada deportista encontrándose habitualmente entre 2-6 mmol.l⁻¹ de lactacidemia. No obstante, más que el valor numérico en sí de lactato en sangre, es más importante el comportamiento de estabilidad o no a una intensidad de ejercicio constante. Los valores máximos de lactato tolerables también son variables para cada deportista pudiendo llegar hasta valores de 20 mmol.l⁻¹ en deportistas de alto nivel y en especialidades de alto componente anaeróbico láctico.

5.4.5 Variables subjetivas. Sensación subjetiva de esfuerzo (RPE). Escala de Borg

Se define como las apreciaciones o sensaciones personales subjetivas que suponen para el individuo una determinada intensidad del ejercicio, tanto a nivel central cardiovascular, a nivel periférico muscular o bien a nivel de una valoración global de la fatiga del organismo.

Para poder definir esas sensaciones se utiliza la escala de Borg o escala RPE cuyas instrucciones deben ser leídas al deportista antes de la realización de la prueba de esfuerzo y son las siguientes:

 “En varios momentos, durante la prueba, se te va a pedir que valores tu sensación de esfuerzo según una escala. En ésta deberás señalar un número que describa esa sensación subjetiva, relativa al esfuerzo que estas realizando. Esta valoración ha de ser la suma de todas tus sensaciones de estrés físico y fatiga.

En cada ocasión deberás señalar 3 valores por separado:

- En primer lugar, un valor LOCAL referido a aquellas sensaciones procedentes de músculos y articulaciones.
- En segundo lugar, un valor CENTRAL referido a aquellas sensaciones procedentes de tu corazón y pulmones.
- Y, por último, un valor TOTAL que integre todas las sensaciones en la forma que tú consideres más apropiada.

Procura no sobrevalorar ni infravalorar tus sensaciones y señalar un número, NO una de las definiciones de la tabla.”

La sensación subjetiva de esfuerzo podemos correlacionarla con los parámetros biológicos medidos en la prueba de esfuerzo, permitiéndonos valorar la evolución en distintos momentos de la temporada.

5.5 Evaluación de los resultados

En la valoración de la prueba de esfuerzo debemos prestar atención a los siguientes aspectos relacionados con la salud, la prescripción de ejercicio y con el rendimiento deportivo:

Motivo de detención de la prueba de esfuerzo

En la evaluación de la prueba de esfuerzo debemos señalar si ésta fue máxima o submáxima y el motivo de detención: por fatiga central, periférica o ambas, o bien por la aparición de algún síntoma (dolor precordial, sensación de mareo, palpitaciones, náuseas) o bien porque se alcanzó una frecuencia cardiaca máxima (FC máx.) predeterminada para su edad. Anotaremos la FC máx. alcanzada en la prueba de esfuerzo y su porcentaje respecto a la FC máx. teórica (FCMT=220-edad). Se recomienda como mínimo realizar un esfuerzo físico suficiente para alcanzar el 85% de la FCMT, considerando entonces la prueba de esfuerzo válida para la evaluación de la cardiopatía isquémica. Las pruebas de esfuerzo realizadas a deportistas de alto nivel las planteamos como máximas. Debemos estar atentos a dar por finalizada la prueba cuando el deportista lo solicite o ante hallazgos ECG, hemodinámicos, clínicos o metabólicos que nos sugieran la finalización de la misma.

Respuesta eléctrica

- Valoración de arritmias, signos ECG de isquemia, evolución de cambios del ECG basal.
- Respuesta cronotropa: la respuesta de la FC en ejercicio está regulada por múltiples factores endógenos y exógenos. Entre ellos podríamos considerar la edad, el sexo, el grado de entrenamiento, el tipo de ejercicio, las condiciones ambientales (temperatura, humedad, presión atmosférica, hora del día) y algunas condiciones patológicas (anemia, patología tiroidea, procesos febriles, cardiopatías, trasplante cardiaco).

La incompetencia cronotrópica se puede considerar como un signo de mala función ventricular o una enfermedad del seno. No se debe confundir con la dificultad, en algunos casos incapacidad, de alcanzar la FC máx. teórica en determinados deportistas de resistencia aeróbica con bradicardias sinusales en

reposo moderadas-severas, como consecuencia de la adaptación al entrenamiento. Debemos valorar en la historia clínica previa a la prueba de esfuerzo si se toma algún tipo de fármaco que pueda afectar a la respuesta cronotropa durante el ejercicio.

La taquicardización excesiva a bajas cargas de ejercicio puede ser debido a múltiples causas, siendo las más frecuentes un nivel bajo de entrenamiento aeróbico, la inadaptación al ergómetro o la presencia de alguna patología intercurrente (anemia, proceso febril, hipertiroidismo).

Respuesta hemodinámica o tensional

Los tipos de respuesta de la presión arterial durante el ejercicio físico pueden ser:

- Fisiológica: ya mencionada anteriormente en el capítulo.
- Hipertensión sistólica y/o diastólica: Estos deportistas deberán ser controlados en el futuro por el posible riesgo de desarrollar hipertensión arterial en reposo.
- Hipotensión sistólica: Indica disfunción ventricular. Sin embargo, en deportistas tras la realización de un ejercicio de alta intensidad que es finalizado bruscamente puede producirse un estado de hipotensión post-ejercicio momentáneo debido a un descenso brusco de la tensión arterial sistólica por disminución del gasto cardiaco, como consecuencia de la vasodilatación periférica y el descenso del retorno venoso. Con la recuperación activa se suele minimizar este proceso con una rápida normalización de la tensión arterial.
- Hipotensión diastólica: la tensión arterial diastólica puede disminuir de una manera importante en ejercicios extenuantes debido a la gran vasodilatación con disminución de las resistencias vasculares periféricas.
- Inalterable: la tensión arterial diastólica puede no modificarse durante el ejercicio. Sin embargo la falta de respuesta en la tensión arterial sistólica tiene un significado patológico.

Respuesta clínica

Durante la prueba de esfuerzo prestaremos atención al deportista o paciente que esté realizando la prueba. Aunque esto

parece de sentido común, no siempre se hace y nos dedicamos exclusivamente a mirar los diferentes monitores que controlan las variables biológicas. Preguntaremos periódicamente por las sensaciones del deportista y en especial por los posibles síntomas que puedan aparecer como dolor precordial, sensación de mareo, cambio en el ritmo cardiaco con palpitaciones, náuseas, dolor de cabeza, fatiga de miembros inferiores, fatiga respiratoria con disnea importante o fatiga general.

Valoración de la capacidad funcional

Los criterios de maximalidad de una prueba de esfuerzo son:

- a) El criterio más importante y fiable es la consecución de un comportamiento en meseta de la curva de VO_2 (Figura 5), o bien que el aumento sea inferior a $150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ en dos estadios sucesivos.
- b) Que se alcance una lactacidemia de $8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.
- c) Que el cociente respiratorio sea mayor que 1.1.
- d) Que la frecuencia cardiaca máxima se desvíe lo menos posible de la que teóricamente corresponda de acuerdo a la edad.

Se debe valorar también el nivel subjetivo de percepción de esfuerzo, es decir la incapacidad del paciente a seguir la prueba y la aparición de agotamiento. El cansancio de la musculatura suele ser el limitante del esfuerzo por lo que habitualmente el ascenso gradual de la curva de VO_2 se interrumpe bruscamente, sin mostrar la aparición en meseta, en especial en sujetos no entrenados y desde luego en cardiopatas. Este punto de mayor consumo de O_2 alcanzado en la prueba se conoce como VO_2 pico y es el parámetro que habitualmente se obtiene en los pacientes. Sin embargo, en deportistas de alto nivel es habitual encontrar la meseta característica de maximalidad.

En sujetos sedentarios los valores normales de VO_2 máx., oscilan entre 35 y $45 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en varones de 20 a 40 años y entre 30 y $40 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en mujeres. La valoración del VO_2 máx. debe realizarse en base a los valores de referencia del deporte, edad y sexo de que se trate. Incluso dentro de un mismo deporte puede variar el valor promedio de VO_2 máx. en función del momento de la temporada, puesto de juego, o bien de la categoría de

peso, o bien en función de la especialidad dentro de un mismo deporte. En el Anexo I se presentan los valores promedio de VO_2 máx. y otros parámetros para deportistas de alto nivel españoles (Pruebas de esfuerzo realizadas en el Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes).

Los criterios de valoración de los umbrales aeróbico y anaeróbico (parámetros submáximos) por el método ventilatorio o de los equivalentes respiratorios (Figura 6), son los descritos por Davis en 1985 y se muestran como ya se comentó anteriormente en la Tabla 8.

Figura 5. Meseta en el VO_2 indicativo de VO_2 máx durante la realización de una ergoespiometría incremental en tapiz rodante.

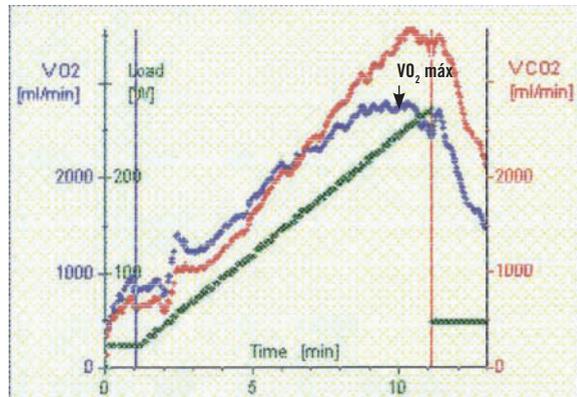
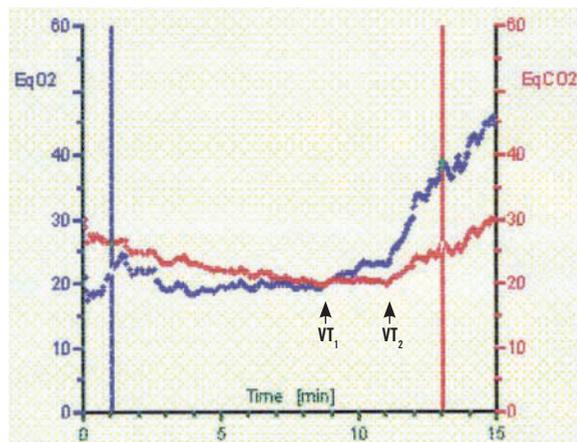


Figura 6. Test incremental máximo en tapiz rodante con determinación de umbrales por método ventilatorio. VT_1 : umbral aeróbico. VT_2 : umbral anaeróbico.



La determinación de los umbrales nos servirá de guía para la prescripción de la intensidad de ejercicio según se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Prescripción de la intensidad de ejercicio según la zona de transición metabólica que se quiera trabajar.

Situación metabólica	Tipo de entrenamiento
Intensidad máxima.....	Interválico intensivo Interválico extensivo
Umbral anaeróbico →	Continuo intensivo
Umbral aeróbico →	Continuo extensivo

5.6 Información al entrenador. Modelo de informe final

La información que se obtiene de la prueba de esfuerzo debe ser recogida y almacenada adecuadamente. Toda prueba de esfuerzo debe ser informada para que los resultados lleguen lo antes posible a los entrenadores y deportistas, de una forma clara y concisa, sin una demora excesiva en el tiempo, para que los datos puedan aplicarse rápidamente al entrenamiento. El informe debe incluir los datos necesarios para el diagnóstico de la posible patología del deportista y para la valoración funcional del mismo.

Los datos que como mínimo se deberían recoger en una prueba de esfuerzo son los siguientes:

- Datos de filiación del paciente.
- Datos identificadores de la prueba de esfuerzo: fecha y un número de registro.
- Motivo para la realización de la prueba de esfuerzo
- Historia clínica y deportiva.
- Parámetros basales y valoración: ECG (reposo, bipedestación, posthiperventilación voluntaria), tensión arterial, lactato.
- Datos de la prueba de esfuerzo:
 - Metodología: ergómetro y protocolo (nº estadios, duración, intensidad)
 - Parámetros y registros biológicos (ECG, FC, Tensión arterial, parámetros ergoespirométricos y metabólicos) y mecánicos en cada estadio durante el test y la recuperación. Síntomas durante la prueba de esfuerzo.
 - Comentarios o incidencias ocurridas durante el desarrollo del test.
- Valoración de datos posterior al test:
 - Describir si la prueba de esfuerzo ha sido máxima o submáxima (% respecto a la FCMT). Motivo de finalización de la prueba.
 - Respuesta eléctrica: Comportamiento del ECG esfuerzo en cuanto al segmento ST. Negativa o positiva para cambios isquémicos. Descripción detallada de la presencia de arritmias. Respuesta de la FC.
 - Respuesta hemodinámica o tensional: Comportamiento de la tensión arterial sistólica y

diastólica. Respuesta adecuada al ejercicio o respuesta anormal bien hipotensiva o hipertensiva.

- Respuesta clínica: Asintomático o valoración de los síntomas que se presentaron en la prueba de esfuerzo.
- Valoración funcional: Parámetros ergoespirométricos máximos, en especial el VO_2 máx. y los parámetros submáximos, en especial los umbrales aeróbico y anaeróbico y la eficiencia metabólica.
- Conclusión o valoración global de la prueba de esfuerzo, incluyendo recomendaciones sobre prescripción de ejercicio (tipo de ejercicio, regularidad, duración e intensidad en función de los umbrales) teniendo en cuenta la individualización del mismo en base a la patología e historial deportivo del paciente. En el caso de deportistas de alto nivel el protagonismo en cuanto a la indicación de las cargas de entrenamiento a realizar por los deportistas será del entrenador el cual puede apoyarse en los datos facilitados en la prueba de esfuerzo.
- Fecha recomendada del próximo control. En deportistas aficionados recreacionales: 1 prueba de esfuerzo al año. Resto de deportistas a considerar según los objetivos.
- Debe figurar en el informe el nombre y firma del facultativo responsable que ha realizado la prueba de esfuerzo.

En el Anexo II figura un modelo de presentación del informe de la prueba de esfuerzo.

ANEXO I: Parámetros máximos de esfuerzo (media \pm desviación estándar) en las diferentes especialidades deportivas en deportistas de alto nivel españoles.

Pruebas de esfuerzo realizadas en el Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes de Madrid.

VO₂: consumo de oxígeno
VE: ventilación pulmonar
FC: frecuencia cardíaca

Varones

Atletismo. Prueba de esfuerzos incremental en tapiz rodante.

Especialidad	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	l-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l-min ⁻¹	FC lat-min ⁻¹
100-200	27	22,9±3	73,3±5,2	179±4,9	4,25±0,45	57,9±4,5	161±18,6	194,1±6,5
110 vallas	8	22,6±3	75,3±5,7	183,2±3,3	4,60±0,44	61±2,6	180,2±19,5	193,5±10,5
400	30	23,6±4	72,3±5,9	180,8±6	4,49±0,51	62,1±5,4	170,8±22,6	193,3±9,3
400 vallas	13	23,7±3,6	73,2±6,9	181,3±6,4	4,52±0,50	61,8±4,8	169,5±18,3	194,7±9,1
800	26	24±2,5	67,8±6	178,1±5	4,77±0,43	70,4±4,8	178,1±19,7	191,5±9,2
1500	24	23,4±3	66,1±4,2	178,2±4,2	4,79±0,39	72,7±5,9	176,9±19,9	192±6,8
3000 obs.	23	24,7±4,2	65,2±5,2	176,4±5,5	4,89±0,56	75,1±6,8	173,5±21,3	190,6±6,5
5000	29	25,7±4	62,9±5,4	175,6±6,4	4,63±0,48	73,8±6,6	165,1±16,1	190,7±10,8
10000	15	27,9±3,4	59,8±5,6	171,5±6,2	4,66±0,49	78±5,2	164,4±14,8	186,2±10,7
Maratón	49	30,9±4,4	61,4±5,6	172,9±5,1	4,54±0,39	74,3±5,9	164±16	187,4±10
Marcha	10	24,1±2,1	67±6,9	176,8±5,7	4,75±0,37	71,2±4,5	178,8±12,4	195±6,3
Decatlón	16	22,8±3,9	85,5±6,4	187,1±5	4,73±0,44	55,3±3,8	179±21,8	194,3±7,6
Salto longitud	11	22,4±2,3	70,4±6	180±5,4	4,33±0,48	61,4±3,3	161,7±19,7	196,5±10
Triple salto	8	24,3±3,9	73,2±6,5	184,7±7	4,06±0,56	55,5±5,5	153,9±28,1	190,1±6,3
Salto altura	15	22,2±4,1	73,4±6,8	188,3±6	3,78±0,40	51,6±4,1	154,9±17,2	194,3±9,1
Salto pértiga	10	20,5±2,2	74,7±8,6	180,2±6,8	4,16±0,43	55,8±3,4	164,3±13,4	198,9±9,7
Lanzamientos	9	24±3,8	101,9±13,4	187,1±5,4	4,97±0,79	48,9±5,7	179,3±27,2	188,2±10,5

Deportes de equipo. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Deporte Puesto juego	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	l-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l-min ⁻¹	FC lat-min ⁻¹
Baloncesto base	33	22,9±4,8	79,5±6,9	185,8±5,8	4,79±0,58	60,3±5	164,9±20,4	190±7
Baloncesto escolta	24	23,1±4,6	86,3±7,1	192±3,7	4,78±0,5	55,5±3,5	172,5±22,8	188,5±13,2
Baloncesto alero	37	23,2±4,7	96,3±6,5	199,8±4,1	5,30±0,5	55,2±5,9	180,5±21,9	187±7
Baloncesto ala-pivot	17	21,9±3	100,8±11,7	202±6,3	5,21±0,58	51,8±2,5	182,2±20,2	188±8
Baloncesto pivot	47	23,4±4,1	104,1±10,5	204,8±4,8	5,27±0,64	50,7±4,7	185,4±25	189±8
Balonmano	16	19,8±0,8	86±9,7	187±7,3	5,02±0,54	58,6±5,2	178±24,1	194,6±7,2
Fútbol	77	23,1±3,6	77±6,8	179,8±5,5	4,33±0,46	56,3±4,7	161,6±19,2	192,2±7,8
Fútbol sala	26	27,4±2,8	74,4±6,7	179±6,3	4,30±0,35	58,1±4,9	166,8±12,3	188,2±7,2
Hockey hierba	60	22,7±4,2	71,2±6,9	177±5,8	4,27±0,46	60,1±5	158,6±19,8	195±6,6
Rugby 1ª línea	12	26,5±2,7	102,5±8,5	181,5±4,3	5,22±0,61	50,9±5,3	187,9±18	191±11
Rugby 2ª línea	8	25,6±3,5	102,3±3,5	192,3±1,6	5,20±0,38	50,8±2,6	200,1±16,4	192±8
Rugby 3ª línea	14	26,9±3,8	94,5±6,2	186,6±3	4,99±0,33	53±4,6	183,3±16,2	189±8
Rugby medios	10	24,7±3,4	80,9±9,1	177,7±6,9	4,60±0,44	57±3	158,9±20,4	192±7
Rugby tres cuartos	22	24,6±2,5	84,4±9,7	181,1±6	4,64±0,42	55,4±5,2	181,8±21,7	193±9
Rugby zaguero	6	24,2±3,3	81,2±6,4	178,8±5,7	4,30±0,39	53,1±5	173,5±15,4	193±7
Voleibol	45	22,3±3,7	83,2±5,9	191,6±4,6	4,69±0,38	56,4±4,6	170,4±18,5	193±8

Piragüismo. 1. Prueba de esfuerzo en tapiz rodante.

2. Prueba de esfuerzo en ergómetro específico de piragua.

Deporte Ergómetro	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	l-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l-min ⁻¹	FC lat-min ⁻¹
Piragüismo 1. Tapiz rodante	34	22,1±3,6	79,5±5,2	179,2±5,4	4,92±0,41	62±4,2	183,7±20,7	198,6±9,1
Piragüismo 2. Ergómetro específico	25	21,6±3,4	81,7±5,6	180,6±5,9	4,44±0,44	54,5±5,6	170,6±18	185,9±9,1

Remo. Prueba de esfuerzo en remoergómetro.

	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	I-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹
Remo ligero	46	24,6±4,1	74,1±2	179,2±4,1	4,88±0,36	65,9±5,1	190,5±16,6	194,8±9,5
Remo pesado	21	22,3±3,5	89,4±5,7	191,2±4,3	5,23±0,26	58,6±3,7	203,1±25,7	195,2±7

Judo. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Categoría peso	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	I-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹
< 60 kg.	28	21,2±3,6	62,3±2,1	165,9±4,6	3,77±0,27	60,6±4,4	143,9±12,5	194,2±8,5
< 66 kg.	19	20,4±2,7	67,4±1,2	172,1±6,3	3,91±0,29	58,1±4,5	145,5±12,8	193,1±9
< 73 kg.	24	21,2±2,5	74,1±1,8	174,8±3,5	4,27±0,37	57,7±4,6	161,3±19,6	193,2±7,6
< 81 kg.	17	21,9±3,6	81±2,3	180,8±4,3	4,56±0,17	56,3±2,5	164,7±19,2	188,4±10,3
< 90 kg.	13	22,6±3,8	90,1±4,1	182,9±5	4,73±0,50	52,7±5,9	179,5±25,8	189,4±9,2
< 100 kg.	10	20,7±10,7	100,8±2,7	185,2±8,2	4,80±0,60	47,7±6,2	180±26,1	191±7,7
> 100 kg.	8	20±3,7	115,3±11	186,7±5	4,96±0,37	43,3±4,4	176,4±20,3	188,4±12,2
> 100 kg. Cicloergómetro	8	22,2±4,6	137,1±27	191,8±4,1	4,52±0,55	33,8±6,2	169±29	178,4±8,6

Deportes de raqueta. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Badminton	15	19,9±2,9	71,3±5,1	180,6±3,9	4,22±0,46	59,3±5,4	155,1±10,4	194,9±7
Padel	31	25±5,7	76,4±8,8	179,8±6	4,43±0,44	58,3±4,8	154,9±21,8	192±9,2
Tenis	21	19,9±3,6	70,6±6,1	178,3±6	4,43±0,51	62,7±3,8	147,4±20,8	197,6±8,3

Deportes de precisión. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Tiro con arco	37	25,8±9,8	78,4±7,9	178±6,2	3,96±0,58	50,7±7,8	144,7±24	195,4±8,3
Tiro olímpico	75	27,8±9,3	76,9±12,5	174,9±6	3,38±0,53	44,6±7	131,6±21,1	192,9±11,1

Deportes acuáticos. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Deporte	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	I-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹
Natación 50	24	18,6±2,6	75,5±7,8	183,9±6,2	4,48±0,44	59,6±5,7	159±21	197,2±8,9
Natación 100	48	18,9±3,1	74,5±7,5	182,8±6,5	4,59±0,50	61,8±5,2	167,1±20,3	198,4±8,4
Natación 200	44	18,4±2,6	73,7±7,4	181,4±6,3	4,66±0,47	63,4±4,8	171,3±23,4	198,4±7,2
Natación 400-1500	8	18,4±2,8	73,9±6,6	182,5±7	4,86±0,61	65,7±5,3	176,1±20,1	196,5±9,2
Salto trampolín	9	22,3±4,3	68,3±4,9	172,7±4,6	3,69±0,49	53,9±4,1	137,7±17,8	188,8±4,6
Waterpolo	17	20±3,5	81,5±6,2	186,2±4,9	4,65±0,45	57,1±4,6	165,9±23,9	191,8±13

Gimnasia artística. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Gimnasia artística ≥17 años	27	19,3±2,6	65,4±6,8	168,8±5,7	3,68±0,46	56,4±4,8	136,8±18,6	196,5±6,4
Gimnasia artística <17 años	25	14,5±1,1	49,3±9,5	157,7±8,7	2,75±0,51	56,3±5,9	103,3±23,6	198,2±8,9

Otros deportes. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Deporte	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	I-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹
Boxeo pesos <48, 51, 54, 57 kg.	23	21,1±3,7	56,4±3,2	167±5	3,68±0,30	65,4±5,1	138,8±17,9	188,6±6,7
Boxeo pesos <60, 63^{1/2}, 67, 71 kg.	27	21,3±2,7	68,2±4,6	174,7±4,9	4,17±0,39	61,3±5,7	159±17,1	187,8±9,4
Boxeo pesos <75, 81, 91, y >91 kg.	9	22,2±3,7	81,2±5,9	183,2±4,8	4,58±0,34	56,6±6,1	171±18,9	191,8±6,6
Esgrima	35	24,9±4,9	73±6,1	179,8±6,6	4,30±0,37	59±4,7	162±21,5	194,1±9,5
Esquí alpino	15	18,7±3,3	71,7±9,7	174,5±6,4	4,35±0,68	60,7±5,1	163,8±21,4	206,9±8,9
Halterofilia pesos <77kg.	22	18±1,3	70,4±6,8	170±5	3,43±0,35	48,9±4,5	128±18,1	193,6±11,2
Halterofilia pesos >77kg.	7	21,4±4,2	102,3±22,6	179,1±4,8	4,39±0,47	44,2±7,4	156,3±21,4	189±5,5
Lucha libre pesos <82kg.	13	18,7±1,3	75,1±7,2	176,5±5	3,99±0,35	53,3±4,3	146,9±17,6	196,2±9,9
Lucha grecorromana pesos <76 kg.	15	21,3±4,7	69,6±5,4	172,6±3,7	3,70±0,24	53,5±4,4	152±21	199,9±5,9
Triatlón	73	23,1±4	67,3±4,8	176±4,8	4,87±0,45	72,4±5,1	177,8±18,3	191,4±7,8

Otros deportes. Prueba de esfuerzo incremental en cicloergómetro.

Deporte	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	Potencia Vatios Vatios/kg	$\dot{V}O_2$ l·min ⁻¹	$\dot{V}O_2$ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹
Ciclismo ruta	85	19,9±3	68,3±5,7	176,9±5,2	438,1±45,4 6,41±0,56	4,80±0,43	70,4±4,9	175,4±24,2	194,3±7,5
Esquí alpino	19	17,3±1,8	71,4±10,9	171,8±8	332,1±42,7 4,68±0,34	3,81±0,47	53,8±5,4	154,9±21,3	201,5±8,2
Triatlón	38	23,1±4,8	67,7±4,5	176±4,7	413±38,8 6,12±0,57	4,70±0,44	69,5±5,5	182,2±25	186,8±11,4

Mujeres**Atletismo.** Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Especialidad	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	$\dot{V}O_2$ l·min ⁻¹	$\dot{V}O_2$ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹
100-200-100 v.	23	23,2±2,3	57,1±2,8	167,2±3,8	3,07±0,33	53,8±5,5	113,1±16,8	194,7±7,4
400-400 v.	19	22,5±2,4	56,6±5,1	167,6±4	3,09±0,43	54,5±5,2	113,3±16,3	194,6±9,4
800-1500	20	25,1±4,1	54,1±4,5	163,8±13,2	3,38±0,40	62,4±4,9	121,5±15,9	193,2±9,2
3000-5000	15	26,5±4,1	49,2±3,1	160,6±4,9	3,22±0,16	65,8±3,9	114,9±9,1	189,6±6,5
10000-Maratón	12	29,6±4,5	46,8±4,3	159,4±6,1	3,27±0,33	69,9±4,5	122,1±11,6	190,8±5,6
Heptatlón	11	19,6±2,5	62,6±2,9	172,7±4,1	3,13±0,28	50,1±4,4	113,7±17,4	193,3±7,3
Salto	10	24,9±4	56,1±4,4	168,5±7,7	2,95±0,37	52,6±4,7	113±19,7	186,2±10,7
Lanzamientos	11	20,7±3,7	76,2±10,9	170,2±5	3,35±0,56	44,1±5	120,4±20,3	195,6±5,4

Deportes de equipo. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Deporte Puesto juego	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	$\dot{V}O_2$ l·min ⁻¹	$\dot{V}O_2$ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹
Baloncesto base	17	21,6±3,2	64,5±5,3	171±5	3,36±0,30	52,3±4,2	121,5±13,1	191,2±7,1
Baloncesto escolta	9	22,1±2,6	65±4,8	173,7±4,9	3,19±0,29	49,2±3,9	117,5±12,7	186,9±7,2
Baloncesto alero	15	22,8±3,2	71,2±6,3	181,7±4,7	3,65±0,45	51,3±5,1	128,9±16,9	190,3±8,5
Baloncesto ala-pívot	5	22,6±3,9	77±2,8	185,8±1,3	3,62±0,24	47,1±4,4	122,9±9,5	187±5,6
Baloncesto pívot	24	23,6±3,7	84,2±8,4	190,8±6,2	3,69±0,39	44,2±6,2	132,6±18	185,3±7,6
Balonmano	54	22±5,6	65,2±7	171,8±5,3	3,18±0,38	48,9±5,1	118,1±15,1	192±7,9
Hockey hierba	56	20,2±4	57,3±5,6	161,9±5,7	3,03±0,38	52,9±4,9	110,8±17,4	195,9±8,7
Rugby	13	26,4±3,3	64,2±4,3	166,2±6	3,19±0,17	49,8±3,2	117,4±12,9	193±7
Voleibol	29	22,1±3,6	68,5±5,6	179,3±5,1	3,12±0,27	45,7±3,6	109,2±13,8	190±6,6

Piragüismo. 1. Prueba de esfuerzo en tapiz rodante.

2. Prueba de esfuerzo en ergómetro específico de piragua.

Deporte Ergómetro	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	$\dot{V}O_2$ l·min ⁻¹	$\dot{V}O_2$ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹
Piragüismo 1. Tapiz rodante	31	19,5±2,4	63,2±6,1	167,4±5,9	3,22±0,31	51±4,2	120,1±17,2	197,5±8
Piragüismo 2. Ergómetro específico	20	19,8±3,4	62,1±5,5	166,2±4,3	2,86±0,28	46,3±4,6	115,6±10,9	192±8,5

Judo. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Categoría peso	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	$\dot{V}O_2$ l·min ⁻¹	$\dot{V}O_2$ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹
< 48 kg.	18	21±3,8	49,4±2,5	153,7±4,1	2,65±0,19	53,7±3,5	101,1±13,2	198,7±7,9
< 52 kg.	23	20±3,9	53,9±1,9	159,9±3,8	2,71±0,26	50,4±4,5	101,7±17,2	194±7,7
< 57 kg.	13	20,2±3,8	59,2±1,5	162,6±3,1	3,06±0,27	51,7±4,5	108,4±15,3	194,7±6,3
< 63 kg.	20	20,8±3	63,4±2,2	166,1±3,1	3,04±0,33	48±4,6	109,2±17,9	193,7±6,1
< 70 kg.	12	19,9±3,5	70,5±1,6	170,3±5	3,21±0,33	45,6±4,7	119,9±9,4	192,9±6,5
< 78 kg.	9	21,2±3,6	76,9±1,6	174,6±3,8	3,52±0,19	45,8±2,8	123,4±9,8	186,6±9,2
> 78 kg.	6	19,2±3	98,2±5	171,8±2,6	3,48±0,18	35,5±2,7	132,2±11,1	191,8±4,4

Deportes acuáticos. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Deporte	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	I-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l-min ⁻¹	FC lat-min ⁻¹
Natación 50-100	19	18,1±2,7	61,7±5,6	170,7±3,9	3,29±0,30	53,8±5,9	121,9±14,9	199,8±5
Natación 200-400	15	16,7±1,4	57,5±5,6	166,4±2,8	2,98±0,36	52,5±5,6	112±17,5	197,5±6,2
Salto trampolín	10	21,1±3,3	56,2±6,2	160,7±7	2,62±0,27	46,8±3,8	98,5±13,8	191,6±6,5
Natación sincronizada	11	17,6±1,5	57,5±7,9	166,9±5,7	2,91±0,34	51±5,5	115,7±13,8	196,9±7,5

Deportes de raqueta. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Badminton	14	18,4±2,3	59,4±4,4	165,2±5,6	2,90±0,23	48,9±4	102±13,3	193,9±6,4
Pádel	21	25,9±6,1	57,5±4,1	166,3±4,8	2,83±0,25	49,3±3,3	104±12	189,5±8
Tenis	16	18,3±3,5	60,3±5,7	166,7±5,5	3,02±0,36	50,1±3,6	107±16,8	195,3±7,5

Gimnasia. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Gimnasia Artística	48	14,4±1,4	39,4±6,5	147,4±7,9	2,09±0,34	53,2±4,2	80,5±13,5	197±9,2
Gimnasia Rítmica	77	15,2±1,3	42,4±4	161,3±4,4	2,32±0,25	54,8±4,6	88,9±11,6	197,8±8,4

Deportes de precisión. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Tiro con arco	17	26,2±8,1	59,7±6,8	164,7±3,9	2,47±0,36	41,5±5,7	94,3±12,6	191,9±7,8
Tiro olímpico	16	24,8±5,7	61±11,6	163,1±8,1	2,33±0,43	38,5±4,6	92,1±14,7	197,2±12,1

Otros deportes. Prueba de esfuerzo incremental en tapiz rodante.

Deporte	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	I-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l-min ⁻¹	FC lat-min ⁻¹
Esgrima	14	23,9±3,3	59,2±5,3	166,7±4	2,95±0,26	50,2±5,1	114,1±15,6	193,8±8
Halterofilia <48kg <54 kg	12	18,3±3,3	51,3±3,7	153,8±4,6	2,05±0,23	40,1±4	75,7±14,8	192±8,5
Halterofilia <58kg <69 kg	6	17,5±1	64,4±4,3	163,3 ±2,9	2,65±0,32	41,1±3,5	92,4±12,1	193,3±5,1
Lucha	7	23,4±4,2	64,4±10,3	163,6±6	3,01±0,46	47,1±4,4	112,7±22,8	188,6±5,5
Triatlón	20	22,8±4,2	55,4±4,7	163,4±5,7	3,42±0,34	61,9±5,9	122,9±17,8	193,9±8,2
Remo Remoergómetro	13	21,3±3,8	66,8±5	171,1±4,8	3,58±0,29	53,9±6	131,1±15,6	194,9±8,5

Otros deportes. Prueba de esfuerzo incremental en cicloergómetro.

Deporte	n	Edad años	Peso Kg	Talla cm	Potencia Vatios Vatios/kg	I-min ⁻¹	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VE l-min ⁻¹	FC lat-min ⁻¹
Ciclismo ruta	18	21,7±2,6	55,1±5,4	166,4±4,8	333,3±25,1 6,09±0,56	3,36±0,28	61,3±4,8	120,1±14,5	191,3±8,5
Esquí alpino	17	17,5±3,7	58,3±3,9	163±3,3	253,8±30,6 4,35±0,43	2,65±0,35	45,5±5,3	112±20,2	198,9±9,1
Triatlón	12	24,6±3,5	55,4±5,3	164,1±5	297,5±43 5,38±0,66	3,26±0,33	59,3±7	120,1±15,7	182,8±9,1

ANEXO II: Modelo de informe de la Prueba de esfuerzo

Centro de Medicina del deporte
 Servicio de Fisiología del esfuerzo
 (Nombre de la Institución a la que pertenece)

Nombre:	Sexo:	Nº Registro:	
Fecha de nacimiento:	Edad: años.	Fecha reconocimiento:	
Peso: Kg.	Talla: cm.		
Motivo de realización P.E.:			
Historia clínica:			
Historia deportiva:			
Deporte:	Especialidad:	Mejor marca:	
Años entren:	D/sem:	H/sem:	Km/sem:
Momento temporada:			
Reposo:	FC	TA	AL
ECG reposo:			
ECG bipedestación:			
ECG hiperventilación:			
Ergómetro:			
Protocolo:			
TEST:			

VELOC. ó POT. Km/h ó w.	PTE %	T min.	VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹	AL mmol·l ⁻¹	RPE L/C/T	TA mmHg
Calentamiento							
TEST							
RECUPERACION min.							
1							
2							
3							
4							
5							
7							
10							

VELOC.: velocidad del tapiz rodante; POT: potencia desarrollada en cicloergómetro; PTE: pendiente tapiz rodante; T: tiempo de duración de cada estadio; VO₂: consumo de oxígeno; FC: frecuencia cardíaca; AL: lactato; RPE L/C/T: Sensación subjetiva de esfuerzo local, central y total; TA: tensión arterial.

Motivo de finalización de la prueba:
 Alcanza el _____ % de su FC máxima teórica (FCMT).
 Respuesta eléctrica:
 Respuesta hemodinámica:
 Respuesta clínica:
Valoración funcional:

Parámetros máximos

T.	min.	Veloc.	Km/h	Pte.	%	Potencia	w.	w/kg.
		VO ₂	l·min ⁻¹			ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹		
		VCO ₂	l·min ⁻¹			CR		
		VE	l·min ⁻¹			FR	resp·min ⁻¹	FC lat·min ⁻¹

Parámetros submáximos

Umbral aeróbico:

		VO ₂	ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹			% VO ₂ máx.		
		FC	lat·min ⁻¹			% FC máx.		
T.	min.	Veloc.	Km/h	Pte.	%	T /1000 m.	Pot.	w.
							w/kg.	

Umbral anaeróbico:

		VO ₂	ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹			% VO ₂ máx.		
		FC	lat·min ⁻¹			% FC máx.		
T.	min.	Veloc.	Km/h	Pte.	%	T /1000 m.	Pot.	w.
							w/kg.	

Comentarios:

Valoración:

Firma del facultativo responsable de la Prueba de Esfuerzo

Calderón, C.; Rabadán, M. La valoración de la capacidad funcional: pruebas de esfuerzo, protocolos y ergómetros. *Monocardio*, 2 (1): 33-44, 2000.

González Gallego, J. (ed.) *Fisiología de la actividad física y del deporte*. Madrid: McGraw Hill-Interamericana, 1992.

González Iturri, J. J.; Villegas García, J. A. *Valoración del deportista: aspectos biomédicos y funcionales*. Colección de monografías de medicina del deporte Femed, 6. Pamplona: Femed, 1999.

Manonelles, P. *Cardiología del deporte I*. Colección de monografías de Femed, 7. Barcelona: Nexus ediciones, 2003.

Mc Ardle, W. D.; Katch, F. I.; Katch, V. L. *Fisiología del ejercicio: energía, nutrición y rendimiento humano*. Madrid: Alianza Editorial, 1990.

Rabadán, M. (coord.); Calderón, C.; Ferrero, J. A.; Hernández, M.; Sosa, V. Pruebas de esfuerzo con análisis de los gases espirados (ergoespirometría). En: *Pruebas de esfuerzo en Cardiología*. Publicado por la sección de Cardiopatía Isquémica y Unidades Coronarias y el Grupo de Trabajo de Cardiología del Deporte de la Sociedad Española de Cardiología. Barcelona: Edide ; 2000. Pg. 22-51.

Will, P. M.; Walter, J. D. Exercise testing: improving performance with a ramped Bruce protocol. *Am. Heart J.*, 138 (6): 1033-1037; 1999.

6. LESIONES DEPORTIVAS OBSERVADAS EN LOS DEPORTISTAS DE ALTA COMPETICIÓN EN EL CENTRO DE MEDICINA DEL DEPORTE DEL CSD

La Unidad de Aparato Locomotor del Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes, tiene como finalidad el reconocimiento médico-deportivo desde el punto de vista del sistema osteoarticular, así como el diagnóstico y tratamiento de las lesiones deportivas.

La Unidad de Aparato Locomotor cuenta con personal médico y técnico especializado, así como del apoyo de técnicas de imagen complementarias necesarias para ampliar los estudios como la radiología simple y la ecografía musculoesquelética.

Como en todos los campos, y especialmente en las ciencias médicas, el trabajo en equipo es fundamental. Así la traumatología deportiva requiere para su buen funcionamiento del personal de otras unidades, sobre todo el perteneciente a la Unidad de Imagen y Dinámica Postural y a la Unidad de Readaptación física y Fisioterapia.

Tampoco hay que olvidar que la Unidad de Psicología Deportiva, aporta un gran beneficio en la prevención y en la recuperación de lesiones en esta población.

6.1 Hallazgos principales de lesiones deportivas observadas en el Centro de Medicina del Deporte del CSD. Posibles causas

Todo deportista se ha lesionado alguna vez a lo largo de su vida. Es casi inevitable haber sufrido alguna patología debido al entrenamiento diario y a la sollicitación continua del organismo.

Un deportista se puede lesionar tanto en la competición como en el entrenamiento. Con frecuencia surgen accidentes deportivos, de instauración rápida, así como lesiones, que son consecuencia de la sobrecarga, de los mecanismos de trabajo osteo-muscular repetidos y continuados en el tiempo.⁽¹⁾

Cuando una lesión aguda aparece, es importante reconocer en el momento la gravedad. Una vez descartada la morbilidad de la misma, debe ser comunicada a los servicios médicos.

Lo primero es identificar la causa de la lesión, para ello es fundamental conocer el gesto deportivo que se estaba realizando, la colocación del cuerpo, de la articulación etc. y así los profesionales sanitarios darán un diagnóstico y un pronóstico más preciso.

A continuación se hará un pequeño análisis de lo que conocemos como lesión deportiva: las diferentes definiciones, las clasificaciones y la epidemiología de las mismas.

El concepto de lesión deportiva ha ido variando a lo largo de los años, así como las distintas clasificaciones. Esto es debido a que no se ha llegado a ningún consenso, porque todas ellas, se complementan.^(2,3)

De las clasificaciones de las lesiones deportivas que hay en la literatura destacan las que encasillan la lesión según su región anatómica, el tejido afectado, la gravedad del daño, el tiempo de regreso al entrenamiento o a la competición. De esta manera las estudiamos:

- a) Según tejido afectado
 - Lesiones articulares
 - Lesiones ligamentosas
 - Lesiones musculares
 - Lesiones tendinosas
 - Lesiones óseas

b) Según región anatómica que se ve implicada

c) Según gravedad

- Aguda
- Crónica (sobrecargas)

d) Según el tiempo “perdido” ⁽⁴⁾

- Real: Horas, días, semanas, meses.
- Subjetivo: prensa

Fundamentalmente en traumatología del deporte se diagnostica la lesión según la afectación del tejido dañado y se hace una gradación para dar un pronóstico.

Como se ha comentado previamente, las lesiones deportivas se clasifican en agudas y crónicas o por sobreuso. Estas últimas son características del mundo laboral y sobre todo del deportivo.

Lesiones agudas:

Ocurren cuando la carga tisular es lo suficientemente importante para ocasionar una deformación súbita e irreversible del tejido.

Durante la práctica de actividades deportivas de alta velocidad o que conlleven riesgo elevado de caídas y deportes de equipo.^(5,6)

Lesiones por sobreuso:

Son consecuencia de una sobrecarga repetida, que produce una deformación irreversible, con daño tisular.

En esa sobresolicitación, al tejido no le da tiempo a autorrepararse. Se supera el nivel de tolerancia celular.

Predomina en los deportes aeróbicos, que requieren importantes sesiones de entrenamiento con rutinas monótonas y en deportes técnicos donde se repite el mismo movimiento, una y otra vez.

Un entreno intenso, debería ir seguido de 3 esfuerzos leves para prevenir.^(7,1)

Las causas más frecuentes de daño tisular son:

- Estabilidad articular
- Debilidad muscular, tendinosa, ligamentosa, ósea-osteopenia.
- Anomalías estructurales que pueden ejercer sobrecarga

irregular en determinadas regiones anatómicas.

- Factores psicológicos (confianza en sí mismo, etc.)
- Lesiones previas con rehabilitación y readaptación no adecuada
- Factores extrínsecos:
 - Nivel de juego y posición en campo (equipo).
 - Cantidad y tipo de entrenamiento. Tiempo de reposo.
 - Ropa deportiva, protecciones, terreno, calzado, etc.
- Nutrición e hidratación

Pero a pesar de todo lo que hace el deportista y los profesionales que trabajamos con él para prevenir estas lesiones, existe algo contra lo que no se puede luchar y es el “azar”.

6.2 Características de las lesiones según el tejido que se daña

Ningún ser vivo cuando se daña, lo hace sólo de una estructura tisular aislada.

Tejidos con diferente tipología celular y matricial conviven para realizar funciones y ejecutar movimientos, como es el caso de los tejidos involucrados en el aparato locomotor.⁽⁸⁾

Las lesiones en el tendón, músculo o hueso son frecuentes en los deportistas en general y en el alto nivel en particular, y sobre todo van asociadas al trabajo mantenido del mismo con cargas, en muchas ocasiones sin descanso suficiente.

6.2.1 Tendón: características y etiología de las patologías tendinosas

- Se trata de un elemento de la unidad músculo-tendón-hueso.
- Formado por tejido conectivo altamente especializado, compuesto de células fibroblásticas (tenocitos), separadas por fibras colágenas que siguen las fuerzas cinéticas en cadena del conjunto de músculos, tendones y huesos.
- La estructura del tendón es relativamente avascular, con un 30% de colágeno, 2% de elastina y 68% de agua.
- Tejido con alta capacidad de tracción y escasa extensibilidad. Formado por fibras colágenas (longitudinales y paralelas) que le proporcionan tracción y fibras elásticas (red).

La unidad musculotendinosa transmite la fuerza de contracción, tiene una capacidad tensil y de deformación.

6.2.2 Unión musculotendinosa

Aportan una mayor tensión mecánica y contracción muscular. Punto de mayor capacidad de alargamiento.

6.2.3 Unión osteotendinosa

Una mezcla de estructuras tisulares y celulares que pasan del fibrocartílago al cartílago calcificado y al hueso cortical.

Cuando el tejido tendinoso se daña, le produce al deportista dolor después del entrenamiento, dolor al inicio del calentamiento que desaparece a los

minutos e incluso dolor durante toda la práctica deportiva. Las molestias suelen mejorar con el reposo deportivo.

Existen factores de riesgo que favorecen la aparición de lesiones tendinosas. En la literatura los encontramos habitualmente divididos en intrínsecos y extrínsecos.⁽⁶⁾

Factores intrínsecos:

- Edad (adolescencia)
- Sexo
- Mal alineamiento de miembros inferiores y/o columna vertebral
- Acortamiento de las extremidades
- Descoordinación muscular
- Insuficiencia muscular

Factores extrínsecos:

- Error de entrenamiento (distancia, intensidad, técnica, fatiga)
- Superficie de suelo
- Condiciones ambientales
- Equipamiento deportivo

Las alteraciones tendinosas que se estudian y se diagnostican más frecuentemente entre los deportistas de alta competición son los siguientes:^(10,11)

- Tendinopatías agudas
- Tendinosis (degeneración con/sin neovasos asociados)
- Desinserciones osteotendinosas
- Desgarros miotendinosos

Figura 1. Ecografía que muestra un tendón cuadriceps normal.

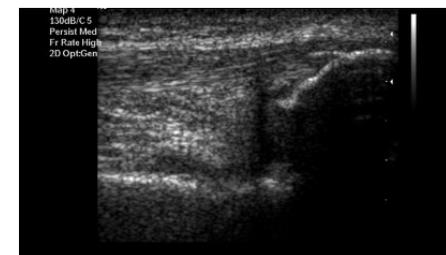
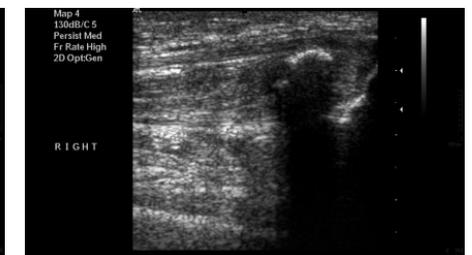


Figura 2. Ecografía que muestra imágenes hiperecoicas, con calcificaciones, signos claros de degeneración tendinosa.



Aunque en nuestro estudio no hemos especificado el diagnóstico encontrado y sólo reseñamos que es una patología de afectación tendinosa.⁽¹²⁾

6.2.4 Músculo: características y etiología de las patologías musculares

- Formado por células denominadas fibras musculares con unas características especiales. Células multinucleadas con un miofibrillas contráctiles en su interior (proteínas que forma la llamada unidad funcional o sarcómero)⁽¹³⁾
- Rodeadas de tejido conjuntivo que las recubre denominado endomisio, epimisio y perimisio.
- Tejido con gran capacidad contráctil.

Existen factores de riesgo que favorecen la aparición de lesiones musculares. Mostramos los más frecuentes:

- Entrenamiento insuficiente
- Calentamiento insuficiente
- Desequilibrio muscular entre agonistas y antagonistas
- Sobrecarga y fatiga muscular (local general)
- Músculos bi-articulares
- Infecciones latentes

La clasificación de las lesiones musculares se exponen en la *Tabla 1* y son las que más encontramos en el Centro de Medicina del Deporte del CSD.

Figura 3. Ecografía de rotura muscular grado III.

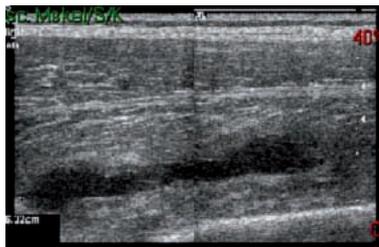


Tabla 1. Protocolo A.E.M.E.F. sobre Clasificación de las Lesiones Musculares Agudas.

LESIONES INTRÍNECAS			LESIONES EXTRÍNECAS
CLASIFICACIÓN ANATOMO-PATOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS	PRONÓSTICO	CLASIFICACIÓN
- CALAMBRE - AGUJETAS (DOMS)	Alteración metabolismo celular	Recuperación en horas	CONTUSIÓN BENIGNA - Afectación partes blandas - No rotura fibras musculares
EDEMA MUSCULAR ("Contractura", "Elongación", "Sobrecarga")	Incremento de proteínas y enzimas musculares. Edema partes blandas. No hematoma	Recuperación en pocos días	
LESIÓN MUSCULAR GRADO I ("Microrotura fibrilar")	Afectación de un pequeño número de fibras musculares. Presencia hematoma en R.M. pequeño	Recuperación en 10-15 días	
LESIÓN MUSCULAR GRADO II ("Rotura fibras")	Afectación numerosas fibras musculares. Presencia HEMATOMA	Recuperación en 3-6 semanas	CONTUSIÓN SEVERA - Gran afectación partes blandas - Puede provocar rotura fibras musculares
LESIÓN MUSCULAR GRADO III ("Rotura completa")	Rotura o desinserción muscular completa	Recuperación en 6-12 semanas	

A.- CLASIFICACIÓN ANATOMO-PATOLÓGICA

B.- LOCALIZACIÓN:

- Vientre muscular
- Zona Unión Musculo-Tendinosa: U.M.-T
- Zona Unión Mio-Conectiva: U.M.-C
- Zona Unión Mio Facial: U.M.-F

C.- GRUPO MUSCULAR AFECTADO: Rectus femoris, semimbranosus, Vastus lateralis, Gastrocnemius

En la estadística realizada no se ha especificado el grado de lesión, sólo la existencia de afectación muscular y la región anatómica.⁽¹⁴⁾

6.2.5 Hueso: características y etiología de las patologías óseas

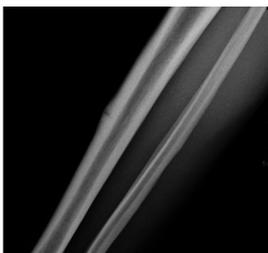
- Es un tejido conjuntivo vivo, muy vascularizado y con un alto contenido mineral.
- Contiene más del 99% del calcio de nuestro organismo.
- Se renueva constantemente.

Para dañar al tejido óseo hace falta una fuerza de mayor intensidad que supere el umbral de elasticidad que tiene el hueso.

Las lesiones óseas que más frecuentemente se ven en el Centro de Medicina del Deporte del CSD, son: ^(10,15)

- Contusión ósea: Afectación del tejido con hematoma en la matriz sin solución de continuidad.
- Fractura: Pérdida de continuidad del periostio. Las fracturas pueden ser:
 - Indirecta / directa
 - Incompleta / completa
 - Cerrada / abierta
- Avulsión: Frecuente en el mundo del deporte de alto nivel. La tracción del tendón puede llegar a arrastrar la inserción ósea del mismo, de manera aguda o debida a estiramientos repetidos de moderada intensidad.
- Desinserción de núcleos de osificación en adolescentes o adultos jóvenes.
- Edema óseo asociado a traumatismo repetido (previo a fractura de estrés).
- Fractura de estrés (sobrecarga).

Figura 4. Radiografía de fractura de estrés en tercio proximal de tibia.



En las lesiones óseas valoradas no se ha especificado diagnóstico, solamente la existencia de patología y su ubicación anatómica.

6.3 Unidad de aparato locomotor

Una vez la lesión del aparato locomotor está instaurada, el deportista de alta competición cuenta con profesionales que le ayudarán en la recuperación de la misma.

Se emprende un trabajo multidisciplinar donde intervienen: los servicios médicos y/o de fisioterapia de las federaciones (si disponen de ellos); el Centro de Medicina del Deporte del CSD; las Clínicas o Mutuas de accidentes deportivos que tiene convenio con dichas entidades.

Objetivos:

Prevención de las lesiones del deportista de alta competición gracias a un trabajo en equipo que incluye al entrenador, al preparador físico y en ocasiones al psicólogo del deporte.

Curación de las lesiones traumatológicas que puedan surgir a lo largo de la temporada.

Pacientes:

Deportistas de Alto Rendimiento.

Pueden acudir derivados por su federación nacional para la realización del reconocimiento médico deportivo obligatorio o bien, para recibir asistencia traumatológica.

Protocolo:

A todas las asistencias médico deportivas se les realiza el mismo protocolo:

1. Historia clínica: inicio, evolución , tratamiento (si ha tenido), antecedentes personales.
2. Exploración
3. Exploración complementaria
 - Ecografía
 - Radiología simple

Estadística de asistencias:

Durante el primer semestre de 2009 se realizaron, en el Centro de Medicina del Deporte del CSD, 331 asistencias nuevas en la consulta de la Unidad de Aparato Locomotor, la mayoría eran de deportistas que entrenan en el Centro de Alto Rendimiento de Madrid, y todos ellos pertenecientes a Federaciones Deportivas Nacionales.

Algunos atletas acudieron de motu propio y otros derivados por su médico federativo o fisioterapeuta.

Los deportes que se atendieron en esos 6 meses, así como el número de consultas por deporte, se puede observar en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Resumen por deportes, de las consultas de traumatología deportiva, en el primer semestre del año 2009.

DEPORTES	Consultas	Porcentaje
ATLETISMO	58	17,5%
LUCHA	42	12,7%
JUDO	34	10,3%
HOCKEY	31	9,4%
TAEKWONDO	27	8,2%
GIMNASIA	24	7,3%
BADMINTON	17	5,1%
RUGBY	17	5,1%
HALTEROFILIA	10	3,0%
BALONCESTO	9	2,7%
PIRAGÜISMO	9	2,7%
GOLF	8	2,4%
NATAACION	7	2,1%
FUTBOL	6	1,8%
PATINAJE	6	1,8%
ESGRIMA	5	1,5%
KARATE	5	1,5%
TRIATLON	5	1,5%
OTROS	11	3,3%
TOTAL	331	100%

De todas las lesiones valoradas, 53% fueron agudas y el 47% crónicas (no se produjeron en un momento específico conocido, sino que se iniciaron de manera insidiosa).

Se estudió el origen de las mismas y se observó que el 73% fueron traumáticas y el 27% no traumáticas.

En el estudio no se ha identificado la lesión deportiva con el diagnóstico específico. Nos hemos limitado a identificar la lesión anatómica implicada y el tejido afectado en muscular, tendinoso, óseo, etc.

En los siguientes gráficos se exponen los hallazgos encontrados en algunos deportes como atletismo, gimnasia, hockey, judo, lucha y taekwondo. (*Gráficos 1, 2, 3, 4, 5 y 6*)

Gráfico 1. ATLETISMO (no se ha diferenciado por modalidades deportivas)

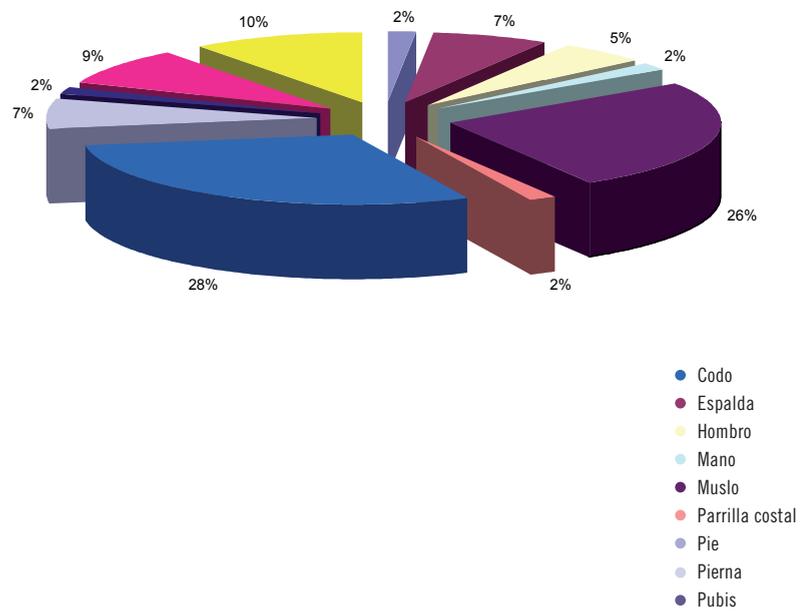
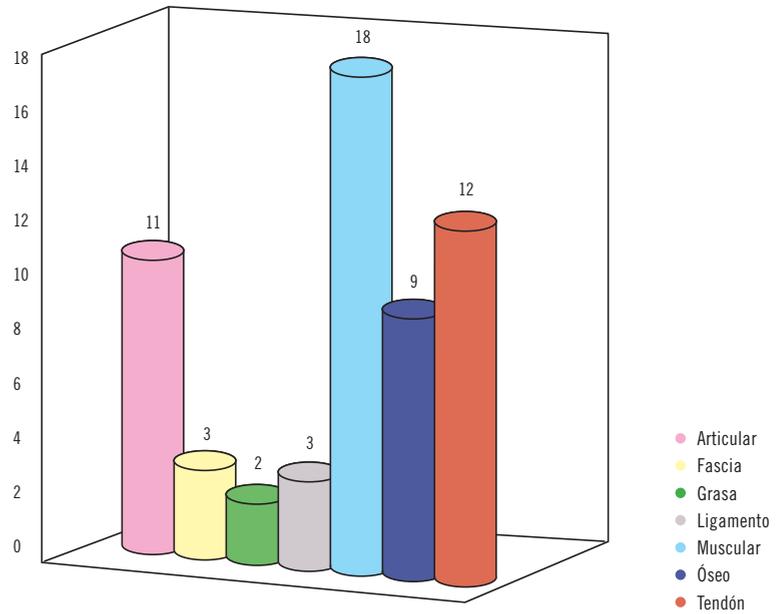


Gráfico 2. GIMNASIA

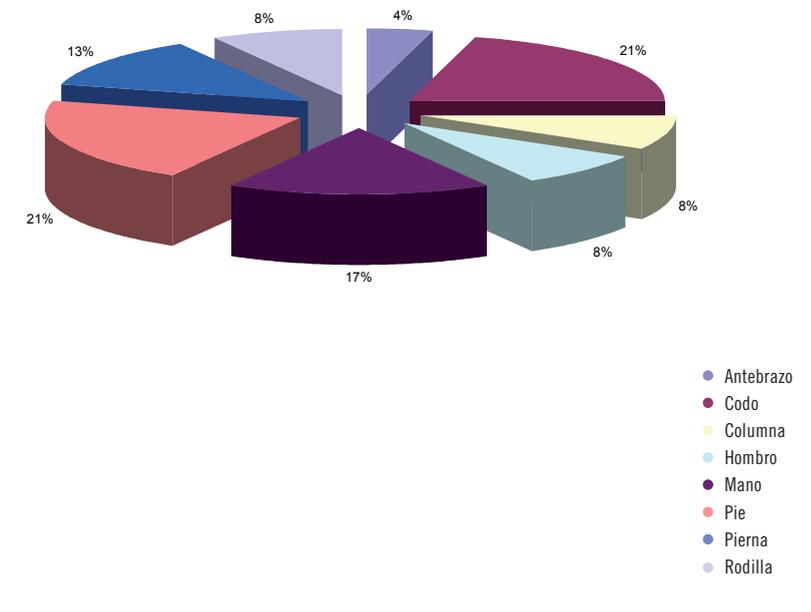
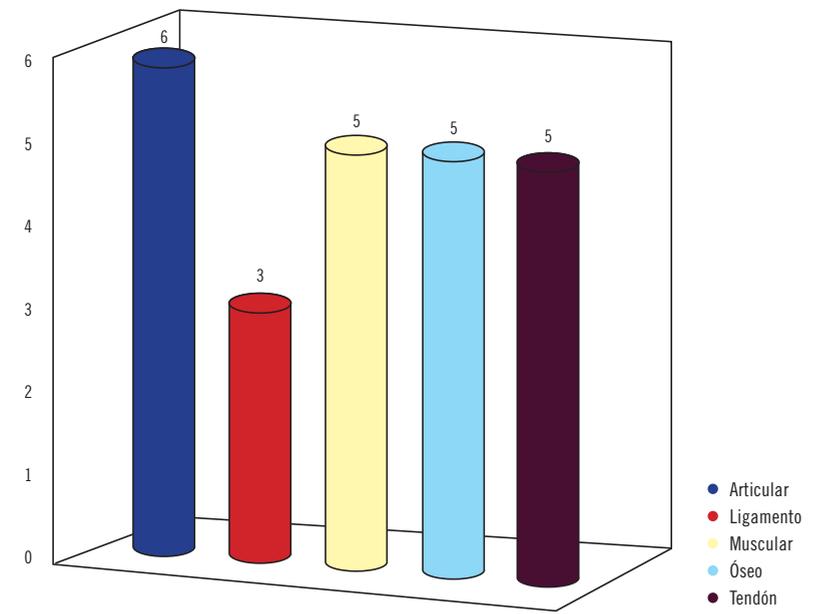


Gráfico 3. HOCKEY (ejemplo de deporte de equipo y contacto)

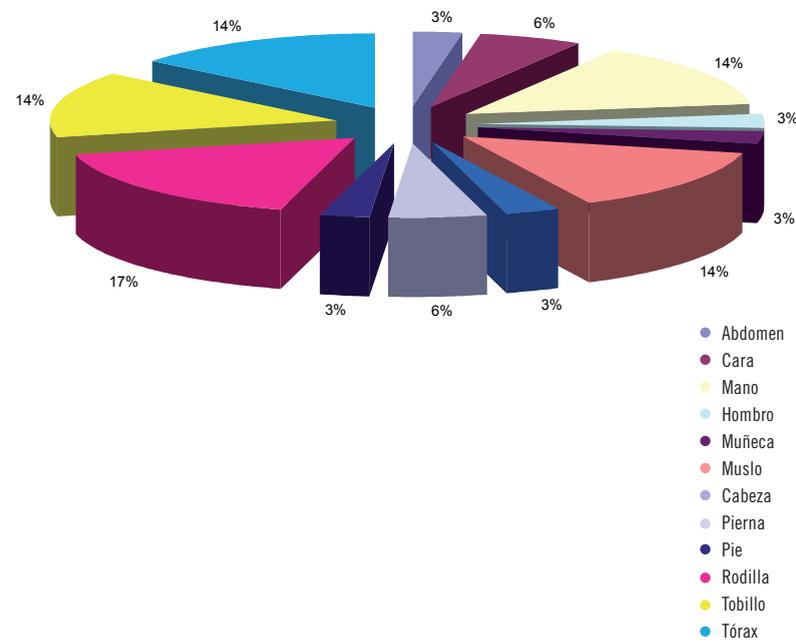
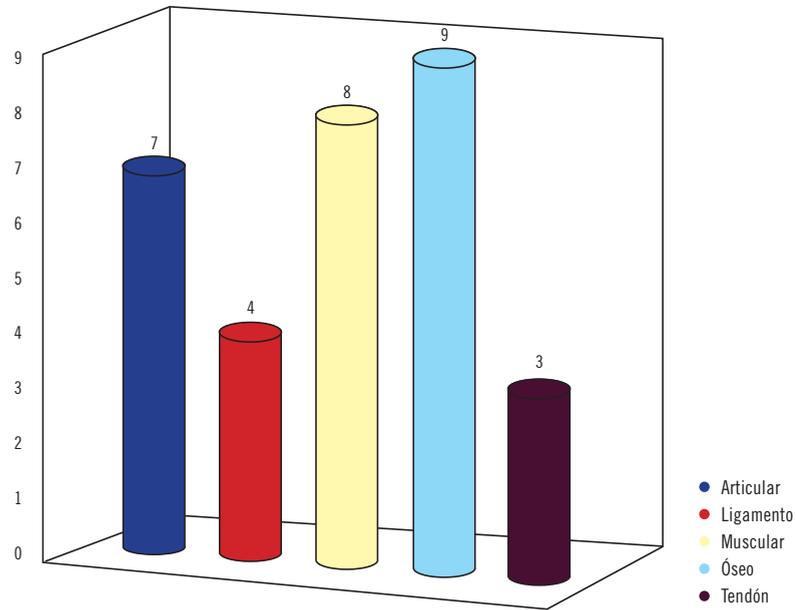


Gráfico 4. JUDO

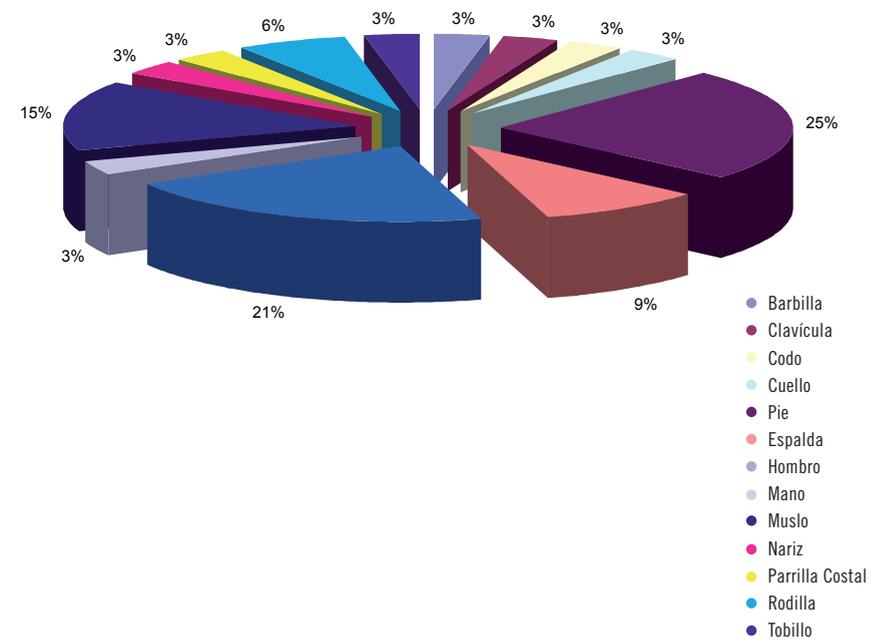
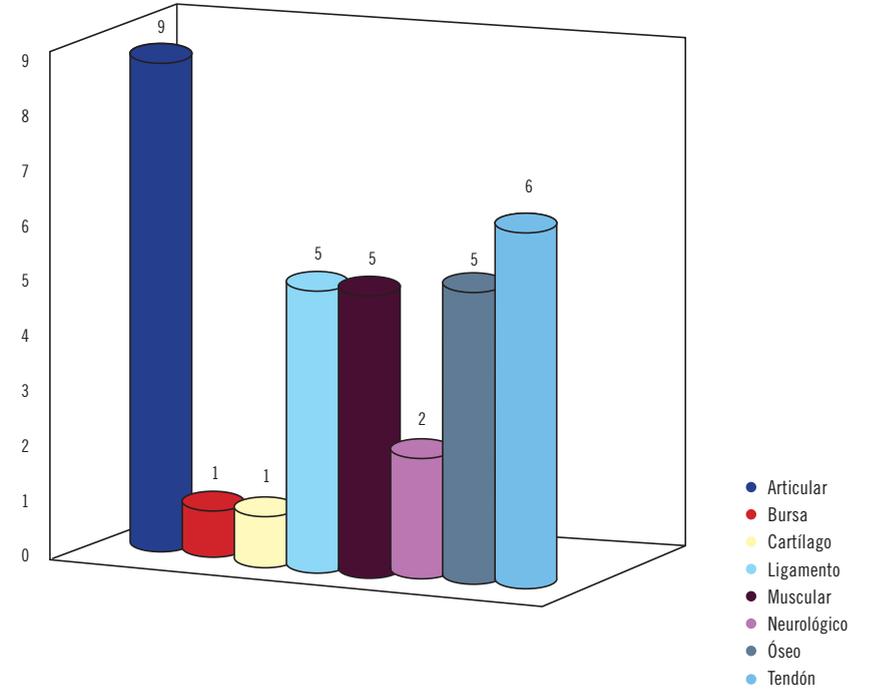


Gráfico 5. LUCHA

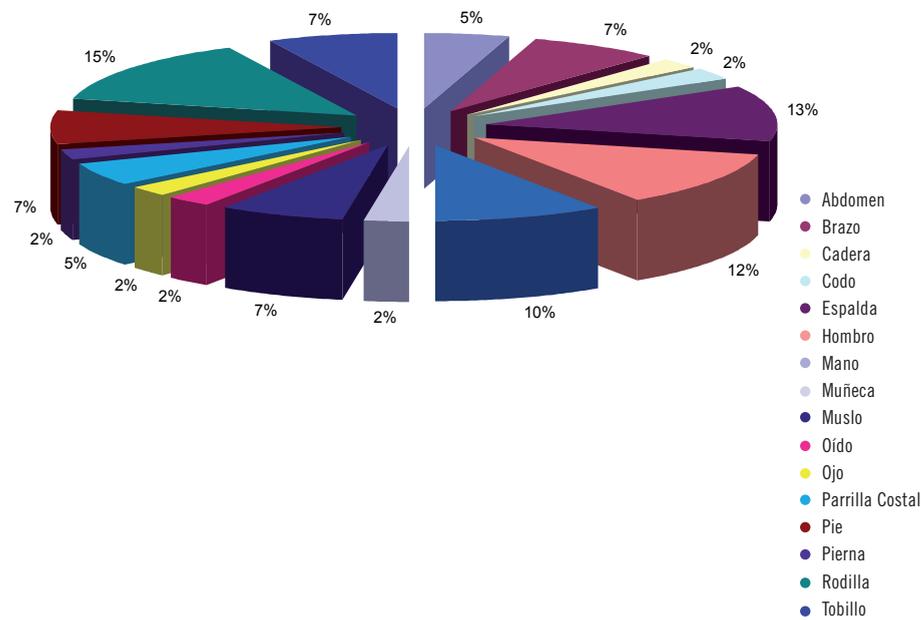
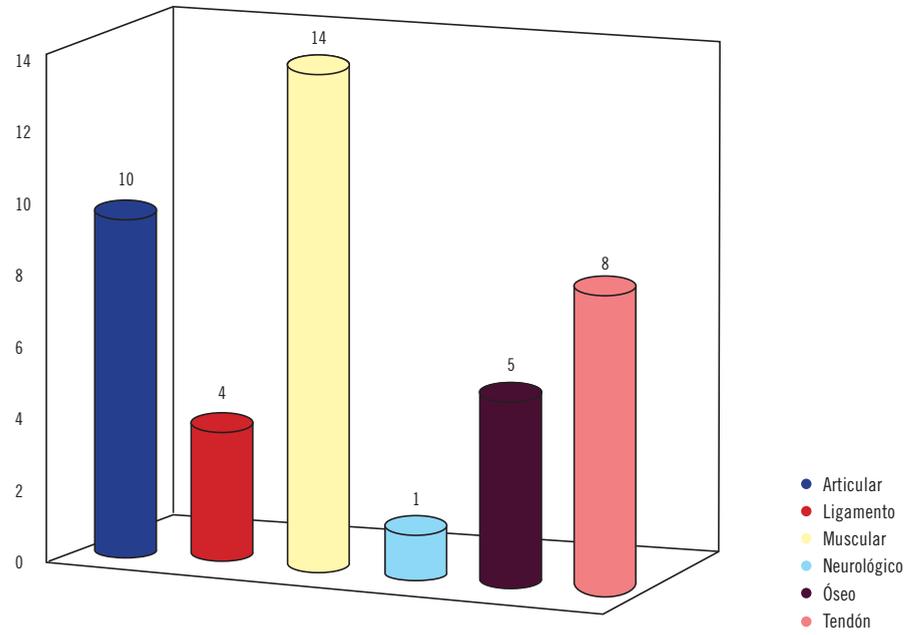
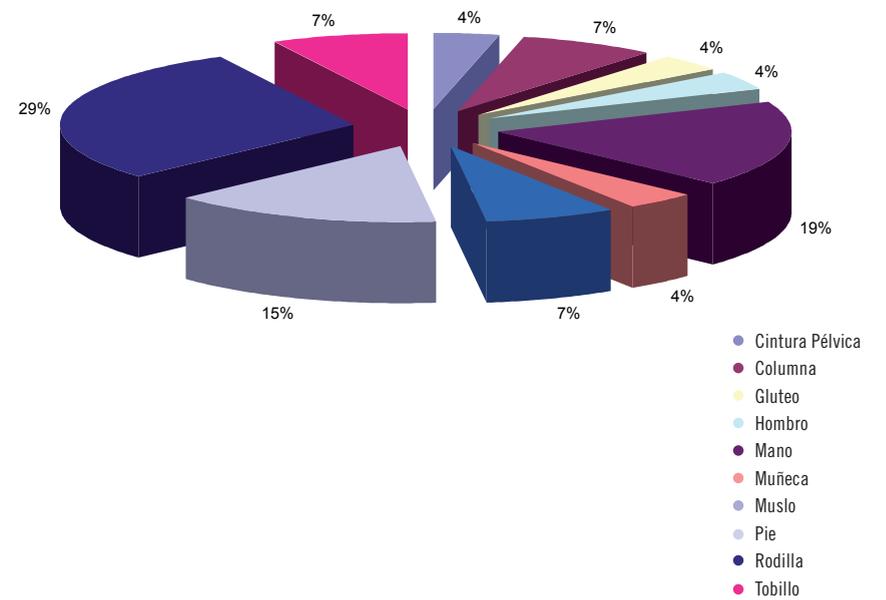
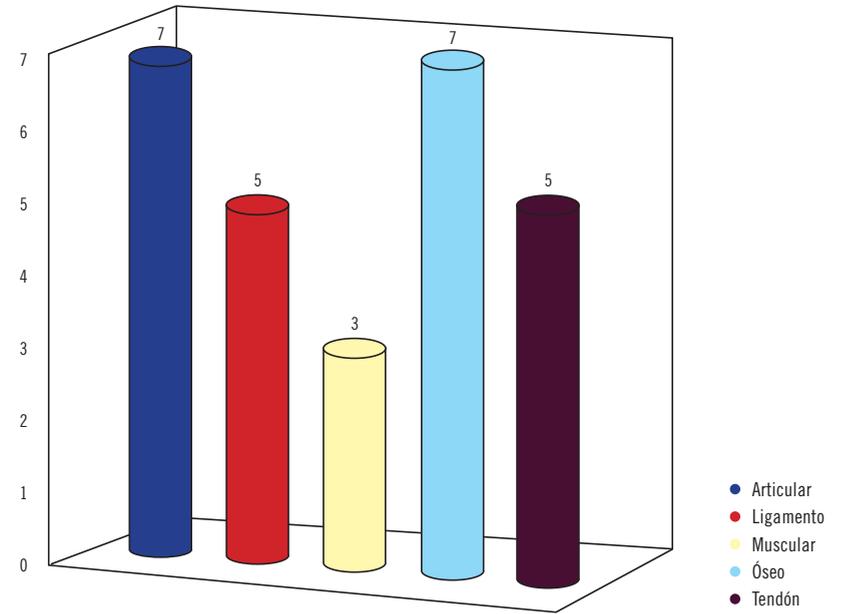


Gráfico 6. TAEKWONDO



6.4 Conclusiones

Está aumentando el porcentaje de lesiones debido a sobrecargas de entrenamiento, en comparación con las patologías agudas, debidas a accidentes deportivos.

El incremento es generalizado en todos los deportes, no sólo en los que precisan movimientos muy repetidos de un gesto determinado.

El trabajo multidisciplinar en la prevención de lesiones deportivas y en la reincorporación a la práctica deportiva es la base del trabajo diario del Centro de Medicina del Deporte del CSD.

En el futuro se pretende disminuir el número de lesiones tanto agudas como crónicas de carácter traumatológico o no, para ello, hay que seguir incrementando el trabajo de prevención y educación a los deportistas tecnificados y de alto nivel.

1. Clain, M.R. et.al. Overuse injuries in children and adolescents. *Phys. Sports. Med.* 17:111-23,1989.
2. Pfeiffer, R. ; Mangus, B.C. *Las Lesiones Deportivas*. Barcelona: Paidotribo, 2007.
3. Morate, F. *Seminario de patología deportiva*. Madrid: Praxis, 1994.
4. De Lee, J.C.; Farney, W.C. Incidence of injury in Texas high school football. *Am. J. Sport. Med.* 20 (5):575, 1992.
5. American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS). *Athletic Training and Sports Medicine*. 2ª ed. Park ridge, Ill., American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1991.
6. Nigg, B.M. ; Bobbert, M. On the potential of various approaches in load analysis to reduce the frequency of sports injuries. *J. Biomech.* 23(1) : 3-12, 1990.
7. American Academy of Family Physicians (AAFP). *Preparticipation Physical Evaluation*. Chicago: American Academy of Family Physicians, 1992.
8. Netter, Frank H. *Atlas of human anatomy*. Masson, 2007.
9. Martínez, J.L. ; Esparza, F. *Traumatología del deporte: Urgencias, avances*. Monografías Femed, 5. Murcia: Sport-trauma, 1994.
10. Miller, Mark D. *Review of Orthopaedics*. Philadelphia: Saunders, 2004.
11. Danowsky, R. ; Chanussot, J.C. *Manual de traumatología del deporte*. Barcelona: Masson, 1992.
12. Balius,R.; Sala,X.; Alvarez,G. *Ecografía musculoesquelética*. Barcelona: Paidotribo, 2007.
13. Worthingham's, D. *Pruebas funcionales musculares*. Madrid: Marban, 2006.
14. Mc. Nally, E. *Ultrasonografía musculoesquelética*. Madrid: Marban, 2006
15. Hoppenfeld, S. Murthy, V.L. *Fracturas: Tratamiento y Rehabilitacion*, .Madrid: Marban, 2001.

7. DIAGNÓSTICO POR LA IMAGEN DE LA LESIÓN DEPORTIVA POR SOBREUSO

La actividad física, en sus diferentes niveles de intensidad, implica el trabajo continuado de las diferentes estructuras del aparato locomotor, huesos, articulaciones, ligamentos, músculos y tendones y con ello la posibilidad de su lesión. Existen multitud de factores predisponentes y/o causantes directos de los diferentes tipos de lesiones que hay que conocer para realizar una adecuada prevención de las mismas, sin embargo una vez producidas, el deportista ya sea recreacional o de alta competición, nos va a exigir un adecuado diagnóstico que permita un tratamiento preciso y una reincorporación a la actividad deportiva en las mejores condiciones posibles.

El diagnóstico de la lesión deportiva se va a basar en dos aspectos fundamentales: una exploración clínica detallada y minuciosa que nos oriente hacia un diagnóstico y la obtención de una buena imagen que nos permita objetivar la lesión sospechada. Por tanto, la prueba de imagen debe ser siempre complementaria a la exploración y nunca previa a ella, puesto que las imágenes deberemos interpretarlas siempre en función de la clínica referida por el deportista y la exploración realizada por el médico.

En el momento actual, el desarrollo tecnológico está permitiendo la incorporación de diferentes pruebas para realizar un diagnóstico preciso y está siendo habitual -dentro del ámbito deportivo y sobre todo en el campo profesional- el requerimiento de aquéllas que se han incorporado en último lugar al arsenal del diagnóstico médico al valorar, por encima de su posible eficacia, la moda imperante o su mayor coste. Sin embargo, el adecuado conocimiento de las características y posibilidades de cada una de ellas nos debe permitir su máximo aprovechamiento en cada una de las circunstancias en que nos encontremos.

Un buen diagnóstico de la lesión deportiva se basa en tres pilares fundamentales:

- El médico al que le corresponde el conocimiento exhaustivo de los patrones lesionales específicos del deporte para realizar un diagnóstico previo preciso.
- La relación directa entre médico del deporte y radiólogo para realizar la selección y aplicación de la técnica de imagen más adecuada y una lectura correcta en función de la imagen obtenida y el diagnóstico de sospecha.

- El técnico que ejecuta la prueba, en orden a realizar las proyecciones más adecuadas en cada caso con la exigencia de máxima calidad, dadas las características de las imágenes a valorar.

Los objetivos de las pruebas de diagnóstico por imagen los podemos centrar en dos aspectos fundamentales:

- Valoración de la lesión sospechada: su localización, extensión y naturaleza.
- Obtención de una guía adecuada para iniciar el tratamiento.

Para ello contamos con diversas técnicas que podemos clasificar en dos grupos fundamentales:

1. Técnicas básicas:
 - Radiología convencional
 - Ecografía
2. Técnicas específicas:
 - Tomografía axial computerizada
 - Resonancia magnética
 - Gammagrafía

Su elección final se basará en dos criterios básicos:

- a) Que sea una técnica rentable, es decir, económica, sencilla, rápida, inocua y clasificatoria.
- b) Que sea una técnica eficaz, es decir, influyente en la patología a valorar y determinante en su capacidad diagnóstica.

La patología deportiva producida por sobrecarga constituye un área especialmente importante, afecta a todos los elementos del aparato locomotor y se encuentra en relación directa con el gesto deportivo, hasta el punto de ser nombrada en relación a los mismos: hombro del lanzador, rodilla del saltador, codo de tenista, etc. En los últimos años, el desarrollo del deporte y con él, el aumento del número de personas que realizan actividad física ha supuesto un notable incremento de consultas por lesiones por sobrecarga, sobre todo en el ámbito de la alta competición, dando lugar a una mayor progresión en las diferentes

técnicas de diagnóstico por imagen de estos cuadros clínicos. La radiología digital ha llegado a mostrar una alta sensibilidad y la ecografía, hasta hace poco tiempo sólo útil con transductores sectoriales y frecuencias de trabajo muy bajas con escaso nivel de resolución, está sufriendo uno de los mayores avances tecnológicos para llegar a constituir el elemento imprescindible de valoración.

Las características anatómicas de las diferentes estructuras y la localización de los diferentes tipos de lesión nos orientará hacia el uso de un tipo u otro de técnica de imagen.

7.1 Técnicas básicas

La **radiología**, como técnica basada en la emisión de Rayos X que atraviesan los tejidos en función de su capacidad de absorción, está dirigida fundamentalmente a la valoración del componente óseo, sin embargo existe una posibilidad de valorar partes blandas, mediante técnicas específicas de bajo voltaje o referencias indirectas (bolsas serosas, etc.).

La radiología se va a utilizar para:

- Valorar la disposición anatómica o estado funcional de los segmentos afectados.
- Descartar fracturas óseas, con especial incidencia en las fracturas de estrés.
- Los puntos de inserción del tendón al hueso constituirán zonas de especial atención en la exploración radiológica permitiéndonos la valoración de diversas patologías entre las que destacan:
 - Los arrancamientos óseos por tracción
 - Las tendinopatías de inserción (hombro y codo del lanzador, osteopatía de púbis, rodilla y tobillo del saltador, etc.)
 - Las patologías de los núcleos de osificación (Osgood Schlatter, Sever, Sinding-Larsen-Johansson)
 - Las miositis osificantes postraumáticas
 - Las calcificaciones

Figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6

En cualquier caso, la radiología convencional va a aportar, en manos de especialistas cualificados, las ventajas de ser una técnica ampliamente difundida, de fácil realización, de coste reducido y con obtención de imágenes definidas. Los mayores inconvenientes se van a centrar en la dosis de radiación recibida por el deportista, a tener en cuenta en función del número de radiografías que se solicitan a una misma persona a lo largo de su carrera deportiva y la obtención de imágenes planas que limita en determinados casos la valoración espacial necesaria de la lesión a objetivar.

Figura 1. Escoliosis dorsolumbar en atleta.

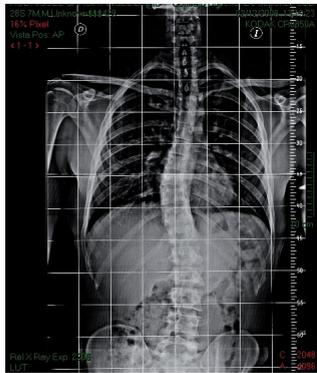


Figura 3. Metafisitis en gimnasta.



Figura 5. Miositis osificante en boxeador.

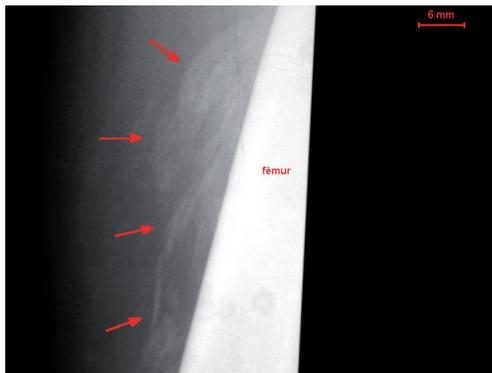


Figura 2. Malformación congénita en un remero.



Figura 4. Apofisitis vertebral en gimnasta.



Figura 6. Impingement tibio-astragalino en baloncesto.



La ecografía y la resonancia magnética van a constituir, por tanto, el eje central del diagnóstico por imagen de la patología músculo-tendinosa. La elección de una u otra va a depender fundamentalmente de la experiencia en el trabajo con la primera, si bien en muchos casos, el hecho de que la resonancia magnética constituya la prueba de última generación en el momento actual y su mayor definición visual de las imágenes obtenidas conlleva que se solicite de forma exclusiva esta prueba.

La **ecografía** se obtiene por recogida del eco procedente de un haz de ultrasonidos que atraviesa la materia. Esta técnica, dirigida desde su inicio a la valoración de órganos y tejidos blandos, no se ha perfeccionado para la valoración de las estructuras músculo-tendinosas hasta los últimos años en que la aparición de las sondas lineales y sobre todo de los transductores de frecuencias entre 5 y 18 MHz variables y de focalización precisa, junto a aplicaciones informáticas cada vez más avanzadas, ha revolucionado las posibilidades diagnósticas de estos equipos.

La ecografía es una prueba que se adapta de forma clara a las necesidades y requerimientos de la patología deportiva.

Entre sus ventajas destacamos:

- Inocuidad
- Repetibilidad
- Estudio en tiempo real
- Estudio dinámico: relajación-contracción
- Buena resolución espacial y definición de estructuras
- Estudio contralateral siempre
- Exploración barata y disponible
- Técnica ideal para el seguimiento de lesiones
- Decide el momento de vuelta al entrenamiento y competición

Los inconvenientes fundamentales se centran en varios aspectos a tener en cuenta a la hora de interpretar los resultados:

- Exploración parcial que impide abarcar toda la longitud de las estructuras a valorar
- No permite la valoración intraarticular en algunos casos ni intraósea
- Necesidad de aprendizaje para su interpretación
- Dependencia de la experiencia del ecografista

La ecografía nos permite, por tanto, abarcar toda la patología de ligamentos y músculo-tendinosa ya sea propiamente muscular, miofascial, de la unión músculo-tendinosa, tendinosa en sí o de la unión osteo-tendinosa, entre la que destacamos:

- Diferenciación de las lesiones sin alteración estructural: calambres, agujetas, contracturas...
- Estadaje y seguimiento de las roturas fibrilares ligamentosas y tendinosas.
- Valoración de colecciones líquidas: quistes, hematomas, derrames.
- Estudio de lesiones residuales: cicatrices, fibrosis, miositis osificante...
- Diagnóstico diferencial de hernias musculares.
- Análisis y seguimiento de alteraciones inflamatorias y/o infecciosas
- Valoración de los cuadros de síndrome compartimental agudo y crónico
- Determinación de necrosis muscular: rabdomiolisis.
- Estudio de lesiones de estructuras asociadas: fascias, bolsas serosas infra o supratendinosas.

Figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12

Figura 7. Tendinosis cuadricepsital en halterófilo.

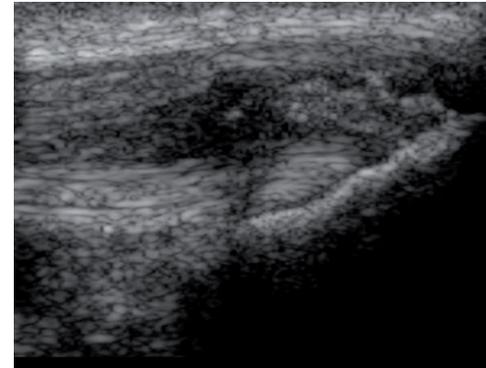


Figura 8. Fractura de estrés en costilla en corredora.

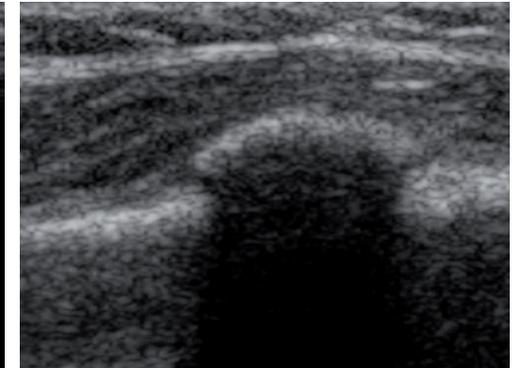


Figura 9. Rotura muscular en jugador de baloncesto.

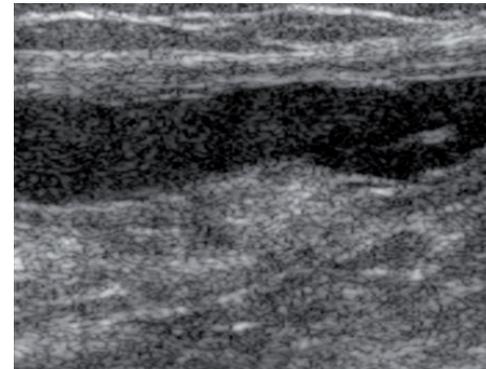


Figura 10. Tenosinovitis de flexor largo de primer dedo de pie en corredor.

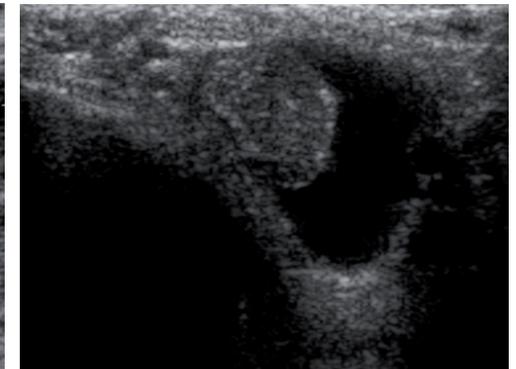


Figura 11. Quiste parameniscal en esgrimista.

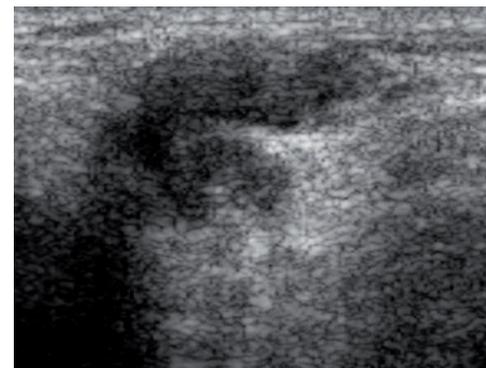
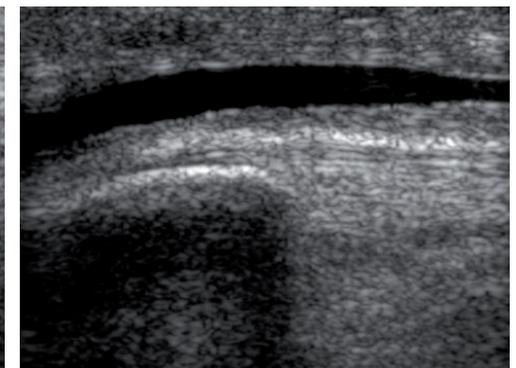


Figura 12. Bursitis prerrotuliana en luchadora.



7.2 Técnicas específicas

La **tomografía axial computerizada (TAC)** constituye el elemento de precisión espacial para la localización de determinadas lesiones en áreas complejas. Basada en la emisión de Rayos X, los actuales TAC helicoidales combinan a la vez el movimiento rotatorio del tubo con el desplazamiento de la mesa durante el barrido con lo que se consigue una adquisición volumétrica que posteriormente el software se encarga de convertir en imágenes tridimensionales de gran calidad.

Sus indicaciones principales serán:

- Imágenes óseas de difícil precisión, sobre todo fracturas.
- Anomalías congénitas.
- Tumores óseos.

Sus ventajas se centran en su mayor resolución espacial, la posibilidad de realizar cortes finos y la rápida obtención de las imágenes. Por el contrario, su inconveniente principal es la alta carga de radiación asociada a cada exploración que impide su uso en cualquier circunstancia.

Figuras 13, 14, 15 y 16

Figura 13. Espondilolisis en jugadora de balonmano.



Figura 14. Fractura de estrés en tibia en gimnasta.

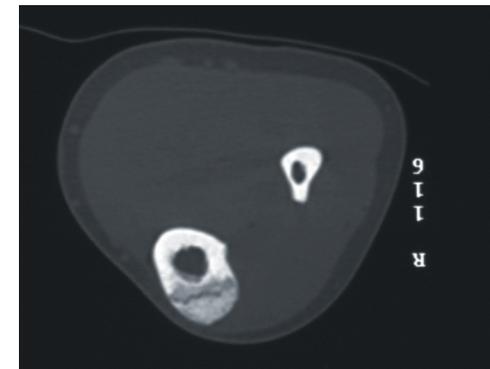
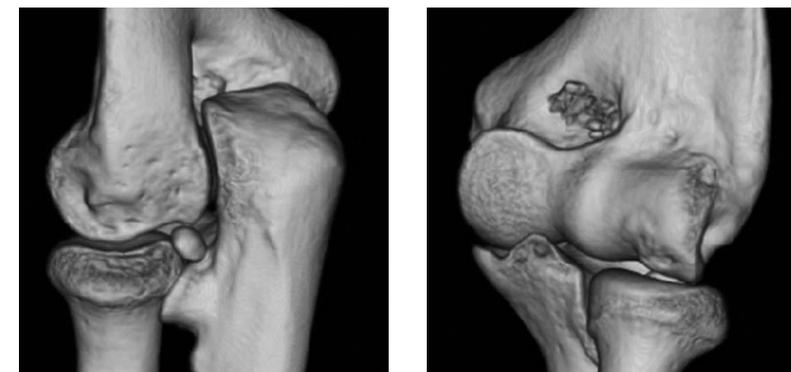


Figura 15 y 16. Cuerpo libre intraarticular en judoca.



La **gammagrafía ósea** consiste en inyectar en sangre una sustancia radioactiva que se fija al hueso. Posteriormente la gammacámara permite medir la cantidad de radiactividad que emite cada hueso, lo que refleja la cantidad de sustancia que se ha fijado en él. En el momento actual, su combinación con las técnicas de tomografía clásica o tomografía de positrones (Spect) ha mejorado claramente su principal inconveniente que es la baja especificidad, manteniendo y mejorando sus ventajas de alta sensibilidad y diagnóstico precoz.

Sus principales indicaciones en el ámbito deportivo serán la sospecha de fractura de estrés en sus primeros estadios, así como los procesos inflamatorios.

Figuras 17,18,19 y 20

Figura 17. Fractura de estrés en metatarsiano en gimnasta.

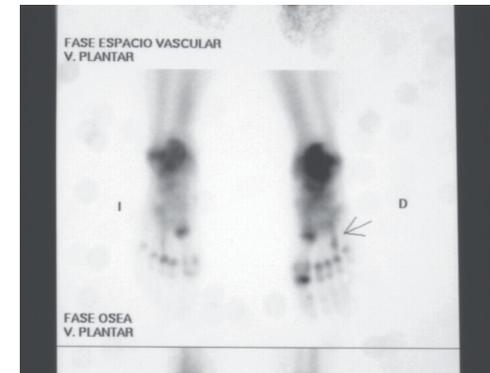


Figura 18. Fractura de estrés en cuello femoral en gimnasta.

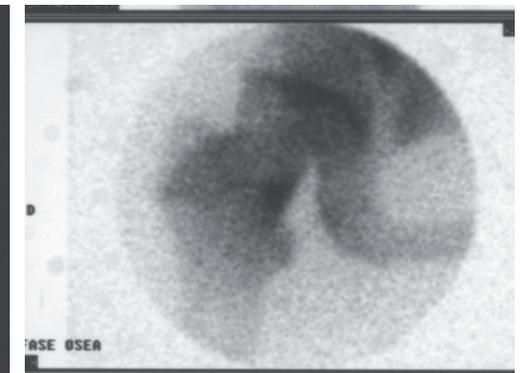


Figura 19. Osteitis en pubis en jugadora de hockey.

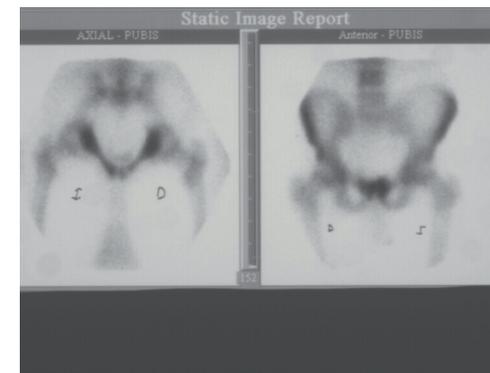


Figura 20. Osteolisis en clavícula en remero.



Finalmente, la **resonancia magnética** constituye la última incorporación como técnica de imagen aportando una visualización casi anatómica de las diferentes estructuras y su posibilidad de valoración en cualquier plano del espacio. Está basada en la propiedad de ciertos núcleos (fundamentalmente hidrógeno y fósforo) de variar su estado energético tras la absorción de ondas de radio al ser colocados bajo un potente campo magnético y volver a recuperarlo emitiendo de nuevo ondas que son captadas y traducidas para dar lugar a las imágenes.

Sus ventajas fundamentales van a ser:

- No emite radiación
- Obtiene el mejor contraste en partes blandas
- Permite cortes en cualquier plano
- Gran resolución de contraste
- Buena resolución espacial
- Posibilidad de estudios vasculares sin contraste intravenoso
- Imágenes fácilmente correlacionadas con la anatomía

Sin embargo tiene unos inconvenientes basados en:

- Exploración todavía lenta y complicada
- Dificultad para realizar cortes finos
- Alto coste económico y escasa disponibilidad
- No realización generalizada de estudios dinámicos
- Requiere mucha colaboración del deportista y/o paciente

La resonancia magnética va a trabajar con cuatro secuencias fundamentales que se pueden resumir en las siguientes características:

1. Imagen en T1: la grasa tiene una señal alta (blanca) y el agua una señal baja (gris-negro). Es una imagen muy nítida que visualiza muy bien la anatomía.
2. Imagen en T2: la grasa tiene señal baja (gris-negro) y el agua señal alta (blanca). Tiene menor nitidez pero detecta bien la patología.
3. Imagen en densidad protónica (DP): tanto la grasa como el agua presentan señal alta (blanca)

Calcio y tejido fibroso mantienen baja señal (negro) tanto en T1, T2 como DP.

4. Imagen de supresión grasa (STIR y FAT-SAT): anulan la señal de la grasa, manteniendo la señal del agua inalterada. Aumenta la sensibilidad de la detección de patología al disminuir la señal de la grasa en médula ósea, tejido celular subcutáneo, tejido graso interfascial e intermuscular.

Las posibilidades diagnósticas son muy amplias, permitiendo la valoración de todas las patologías que afecten a las estructuras músculo-tendinosas y tejidos adyacentes entre las que destacan:

- Hueso:
 - Contusiones, fracturas de estrés, fracturas osteocondrales, osteonecrosis, algodistrofia refleja, etc.
- Ligamentos:
 - Distensión, rotura, etc.
- Articulaciones
 - Sinovitis, síndromes de pinzamiento, condropatías, gangliones, etc.
- Tendón
 - Tendinopatías, tendinosis, tenosinovitis, roturas, luxaciones, etc.
- Nervio:
 - Síndrome de atrapamiento, neuromas, etc.
- Otros
 - Bursitis, granulomas, fibromatosis, etc.

Figuras 21, 22, 23, 24, 25 y 26

Figura 21. Contusión ósea en rodilla en jugador de hockey.

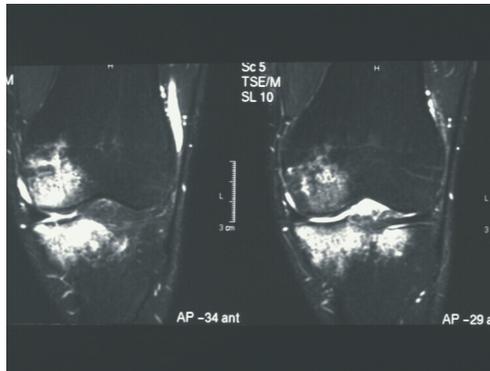


Figura 22. Fractura de estrés en calcáneo en saltador.



Figura 23. Rotura de tendón de Aquiles en gimnasta.



Figura 24. Rotura de Ligamento Cruzado Anterior en judoca.



Figura 25. Artritis plantar en corredor.

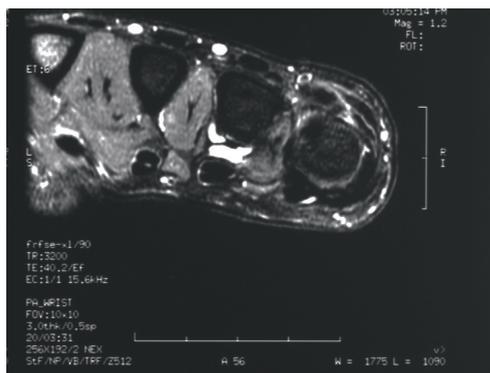


Figura 26. Rotura intramuscular en saltador.



7.3 Conclusión

En resumen, la elección de una u otra técnica de diagnóstico por imagen ha de basarse en los criterios tanto de idoneidad de la misma respecto a la estructura a valorar como en su accesibilidad y coste.

En nuestra opinión, y en el momento actual, la realización de un adecuado estudio radiológico y/o ecográfico, en función de la lesión de sospecha, debe ser el punto de partida de todo diagnóstico de lesión músculo-esquelética, sobre todo en patología de sobrecarga, frente a la realización sistemática de la resonancia magnética como primera elección.

La estrecha relación entre el médico del deporte que realiza el diagnóstico de sospecha y el especialista que interpreta la prueba solicitada optimizará los resultados. Así se evitará la realización de pruebas innecesarias y se orientará hacia un diagnóstico preciso imprescindible para iniciar el tratamiento adecuado que reincorpore al deportista a la competición lo antes posible, objetivo final de este proceso.

Balius, R.; Sala, X.; Álvarez, G.; Jiménez, F.; *Ecografía musculoesquelética*. Barcelona: Paidotribo, 2007.

González Santander, M. Radiología de columna vertebral en jugadores de baloncesto. En: *VII Jornadas de la Asociación Española de Médicos de baloncesto*. Gerona, Junio 1996. (Primer premio).

González Santander, M. The sport injuries in images. En: Congreso EFOST (*European Federation of National Associations of Orthopaedic Sports Traumatology*). Madrid, 2004.

González Santander, M. Imagen y diagnóstico preciso de la lesión deportiva. ¿Podemos elegir?. En: *VII Jornadas de Medicina del deporte de Alto Nivel*. Madrid: Comité Olímpico Español, 2006

Hernández Corvo, R. *Morfología funcional deportiva*. Sistema locomotor. Barcelona: Paidotribo, 1989.

Jiménez Díaz, J. F. *Ecografía en Traumatología del Deporte*. Madrid: Marbán, 2007.

Keats, T.E. *Atlas de variables radiológicas normales que pueden simular estados patológicos*. 6ª ed. Madrid: Harcourt Brace, 1997.

Keats, T.E. *Radiology of Musculoskeletal Stress Injury*. Chicago: Year Book Medical Publishers, 1990.

Peterson, Lars.; Renström, Per. *Sports Injuries. Their prevention and treatment*. London: Martin Dunitz, 1986.

Potchen, E.J.; Koehler, P.R.; Davis, D.O. *Diagnóstico Radiológico*. Salvat Editores, S.A. 1983.

Resnick, D.; Niwayama, G. *Diagnosis of bone and joint disorders*. Philadelphia [etc.]: W.B. Saunders Company, 1988.

Stoller, D. W. *Magnetic Resonance Imaging in Orthopaedics and Sport Medicine*. 2ª ed. Philadelphia [etc.]: Lippincott-Raven 1997.

Taylor, J.A.M.; Resnick, D. *Skeletal Imaging. Atlas of the spine and extremities*. Philadelphia: W.B Saunders Company, 2000.

Yochum, T.R.; Rowe, L.J. *Essentials of Skeletal Radiology*. 2ª ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1996.

8. LA READAPTACIÓN FÍSICA: REHABILITACIÓN Y VALORACIÓN FUNCIONAL MOTRIZ EN DEPORTISTAS DE ALTO RENDIMIENTO

La Readaptación Física se ha constituido en los últimos años en el concepto que incluye la Rehabilitación Clínica y la Recuperación Físico-deportiva. La demanda, por parte del deportista, de tiempos de recuperación cada vez más cortos y la importancia creciente del deporte de élite en la sociedad, con sus implicaciones económicas, han dado lugar a un gran desarrollo de las técnicas ortopédicas de tratamiento de las lesiones deportivas y de los programas de rehabilitación intensiva.

Tradicionalmente, la actitud terapéutica ante una lesión deportiva de aparato locomotor ha consistido en un tratamiento inicial realizado por el médico ^(1,2), seguido de un periodo de reposo deportivo al que se ha añadido un programa de rehabilitación que en la mayoría de los casos se ha limitado a la sesión diaria de tratamiento en la sala de fisioterapia.

En contraste, la Readaptación Física integra todos los apoyos médicos y materiales hacia un trabajo exhaustivo de recuperación temprana del deportista lesionado, mediante un programa de entrenamiento especial que persigue la reintroducción precoz a su deporte y especialidad, a un nivel físico similar o superior al previo a la lesión.

8.1 Principios esenciales de la Readaptación Física

Para desarrollar adecuadamente este concepto de Readaptación Física hay que tener presente los siguientes principios:

Integralidad

Se considera la condición física del deportista en su totalidad, de manera que se aprovecha el tiempo de lesión para trabajar sobre todas las cualidades deportivas y sobre todos los segmentos corporales, no solamente el lesionado. Esto permite una vuelta precoz a la plena capacidad deportiva, ya que obvia (o al menos acorta sustancialmente) el periodo de reentrenamiento “desde el principio”, al que el deportista tradicionalmente se ha enfrentado después del alta médica ⁽³⁾.

Individualidad

La metodología del tratamiento se adapta tanto a las características de la lesión, especificidad del nivel técnico, como a las disponibilidades de tiempo e infraestructura del paciente/deportista, las cuales normalmente se hallan en proporción al nivel deportivo que tenga.

Multidisciplinaridad

Debe desarrollarse por un equipo formado por el médico, enfermero, fisioterapeuta y muy directamente por el entrenador, preparador físico y el propio deportista, como parte activa en el proceso de recuperación ⁽⁴⁾.

La Readaptación Física se desarrolla elaborando un programa de tratamiento muy especializado y considerando las especiales características del deportista como paciente:

- El deportista es por lo general un paciente disciplinado, con verdadera voluntad de curación, en el menor tiempo posible y con escasa incidencia de rentismo (aquellos pacientes que tienen patología inicial, pero exageran sus síntomas para obtener mayor número de sesiones de tratamiento). En este caso, se supone un alto nivel de colaboración en el desarrollo de un programa de readaptación física, que a fin de cuentas, contempla un entrenamiento modificado.

· El deportista está acostumbrado a entrenar. Esto implica, en primer lugar, que ya dedica un tiempo diario al trabajo físico, circunstancia que no se da en el paciente sedentario, el cual tiene que modificar su plan de vida durante el periodo de rehabilitación de su lesión (lo que habitualmente da lugar a incumplimientos del programa). En segundo lugar, el deportista está acostumbrado a seguir fielmente planes físicos, bien con la ayuda de su entrenador o bien individualmente. En tercer lugar, el deportista suele tener conocimientos sobre educación física y teoría del entrenamiento (normalmente más, cuanto mayor es el nivel), la comprensión de un programa de entrenamiento físico suele ser buena, más aún si este programa es gráficamente explícito y además se realiza con la ayuda del entrenador.

· El deportista usa habitualmente infraestructuras y materiales para la práctica de su deporte (más o menos completas, según el medio y nivel deportivo) y que son muy útiles y adecuados para el tratamiento de su patología.

A medida que el nivel del deportista es superior, estos factores ejercen mayor impacto, de modo que los deportistas de élite son las personas que mejor se adecuan al método de readaptación ⁽⁵⁾, ya que en ellos se dan las características y aplicación de los principios mencionados en grado sumo. No obstante, hay que señalar que la creciente mejora de las infraestructuras y la formación de los profesionales dedicados al deporte de base y de ocio y recreación permite una implantación, en todos los niveles del ámbito deportivo, de este novedoso método de tratamiento de las lesiones en el deporte.

8.2 Diseño y desarrollo del modelo de base de datos para el servicio de readaptación física y fisioterapia (BDRF)

Se ha desarrollado un modelo de Base de Datos (BDRF) capaz de almacenar toda la información relativa a los procesos de Readaptación Física y Fisioterapia.

Concretamente, el punto de partida fue un proyecto de base de datos para la recogida de la historia clínica específica para consultas de Medicina del Deporte (López-Illescas, A. 2000) y de su aplicación con el motor de base de datos FileMaker®. Lógicamente, ha sido necesario adaptarlas para nuestros propósitos y para cada una de las necesidades, en un modelo de múltiples guiones, interrelación de tablas y elaboración de informes. Las características y aplicaciones de la BDRF se detallan más adelante conforme se describe el propio proceso de Readaptación Física Específica al Deportista de Alto Rendimiento.

En esta BDRF se recogen y tratan los datos de las dos principales fases de actuación: Fase de Evaluación y Fase de Tratamiento ^(6,7).

8.3 Metodología en el proceso de readaptación física

El deportista es remitido a la consulta de Readaptación después del tratamiento de la fase aguda, o bien tras una intervención quirúrgica, desde los Servicios de Aparato Locomotor o Traumatología Deportiva. En la consulta de Readaptación el deportista es evaluado, se emite un diagnóstico funcional y se prescribe el programa de tratamiento específico.

Para la aplicación y control de todo el proceso de Readaptación Física, en el Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes (CSD) de Madrid, se ha utilizado la base de datos desarrollada por Lopez-Illescas en el 2000.

8.3.1 Fase de evaluación

Al igual que en otras especialidades médicas, la evaluación del paciente/deportista integra la anamnesis (información proporcionada por el propio paciente/deportista) y la exploración física personal con los estudios complementarios de interés.

Si bien un correcto y precoz diagnóstico inicial de la lesión es fundamental, una vez obtenido éste, es necesaria una evaluación basada en criterios rehabilitadores, biomecánicos y deportivos, que nos permita reconocer las carencias funcionales del sistema lesionado y además de su implicación en el resto de los sistemas biológicos, con el propósito de establecer el tratamiento de la lesión y el programa de readaptación precoz para su recuperación "ad integrum".

La evaluación se orienta tanto hacia la lesión como hacia las condiciones físicas básicas e individualidad biomecánica, de modo que se realiza una exploración específica del deportista con atención preferente a estas condiciones.

El acceso a exploraciones especializadas es variable según los recursos de los centros. En el caso del Centro de Medicina del Deporte del CSD es posible acceder a diferentes prestaciones de gran utilidad en la valoración del deportista -como más adelante se detalla-, pero en general, el médico cuenta habitualmente con acceso a las exploraciones complementarias más esenciales: diagnóstico por imagen, laboratorio clínico, laboratorio de fisiología, etc ^(8,9).

En nuestra opinión, la definición de un diagnóstico debe ser ampliada para nuestros propósitos, de modo que no solamente describa la condición patológica particular del sistema músculo-esquelético afectado, sino que además exponga las condiciones físicas y biomecánicas relevantes detectadas en la evaluación.

a) Historia clínica

Consideramos la correcta realización de la Historia Clínica -antecedentes, anamnesis y exploración- como pilar fundamental de la asistencia, tanto a efectos prácticos como legales y científicos.

La totalidad de la información se archiva en la Base de Datos BDRF. Los datos a registrar están lógicamente enfocados a la patología deportiva del aparato locomotor, pero la cumplimentación general no difiere de la de los cánones médicos habituales. Se han establecido campos de elección múltiple ⁽¹⁰⁾ para los datos que consideramos de cumplimentación habitual, por ser de interés en la determinación de las causas etiológicas de las lesiones deportivas: Periodo de temporada, Medio ambiente, Superficie, Mecanismo lesional, Actividad en el momento de aparición, y relación con otras lesiones.

Figura 1. Base de datos de readaptación física.

The screenshot displays a FileMaker Pro Advanced window titled 'FileMaker Pro Advanced - [Base de Readaptación BDRF autor AFRICA LOPEZ]'. The main window shows a form for 'HISTORIA CLINICA' with several tabs: 'HISTORIA CLINICA', 'PROGRAMA DE TRATAMIENTO', 'INTERCONSULTA', and 'INFORME'. The 'HISTORIA CLINICA' tab is active, showing fields for 'APELLIDOS', 'NOMBRE', 'Tel', 'Nº Registro', 'GENERO', 'Edad', 'Deporte', 'Especialidad', 'Nº de consulta', 'Nº REG ISOC', 'ADO', and 'ENTIDAD DEPORTIVA'. Below these fields, there are sections for 'Fecha lesión', 'Fecha consulta' (set to 'Lunes 2 De Agosto De 2010'), and 'Anamnesis'. The 'Anamnesis' section is expanded, showing a list of options for 'Localización de la lesión', 'Modo de aparición', 'Periodo de temporadas', 'Medio ambiente', 'Superficie', 'Mecanismo lesional', 'Actividad en el momento de aparición', and 'Primeros tratamientos'. The 'Mecanismo lesional' section is further expanded, showing a list of options: 'Trauma directo apoyado', 'Trauma directo no apoyado', 'Rotación apoyado', 'Rotación más flexión', 'Transmisión fuerzas', 'Estramiento', 'Sobrecarga', 'Desconocido', and 'Edición...'. The 'Actividad en el momento de aparición' section is also expanded, showing a list of options: 'Protección actual zona lesionada:'. The interface includes a sidebar with 'Visualizar' and 'Historia' buttons, and a status bar at the bottom showing 'Registros: 1433' and 'Total: 1433'.

b) Exploraciones complementarias

Las Unidades de evaluación del deportista de alto rendimiento del Centro de Medicina del Deporte del CSD, nos permiten acceder a una batería de pruebas complementarias de inestimable valor, tanto en el estudio de la lesión deportiva, como en el de las características físicas generales del deportista. Unido a estas pruebas complementarias, el Departamento de Readaptación Física dispone de un Laboratorio de Valoración Funcional Motriz ⁽¹¹⁾. La integración de esta información con los datos de la historia clínica ⁽¹²⁾ hace posible el diagnóstico funcional y el desarrollo del programa de tratamiento óptimo.

Figura 2. Base de datos de readaptación física: guión con desplegable de pruebas complementarias.

b1) Diagnóstico por la imagen: Radiología, TAC, RMN y Ecografía. Análisis del apoyo y dinámica de la marcha.

b2) Fisiología del esfuerzo: El laboratorio de pruebas de esfuerzo es hoy en día una herramienta principal en la valoración del acondicionamiento cardiorrespiratorio al ejercicio físico específico. Como tratamiento integral, el proceso de readaptación física incluye la actuación sobre este aspecto, por lo que su monitorización por medio de estas valoraciones es deseable siempre que sea posible.

b3) Cardiología: Disponemos de una batería de valoración cardiológica deportiva completa que incluye Ecocardiografía Doppler color y Ecocardiografía de esfuerzo. De este modo, es posible determinar la adaptación cardiovascular del deportista durante el periodo de lesión, algo especialmente útil en lesiones con tiempos de rehabilitación prolongados.

b4) Análisis Clínicos: La determinación de la analítica simple de sangre y orina es prácticamente de rutina en el estudio de cualquier patología no banal. La completa batería de tests de sangre y orina de la que disponemos nos permite la determinación y seguimiento de los parámetros biológicos que sean de interés, en el proceso de recuperación del deportista lesionado.

b5) Antropometría: Las técnicas para la obtención de la composición de la masa corporal del deportista lesionado, siendo éste de especial interés de nuevo en las lesiones con tiempos de recuperación prolongados, y cuando se pretende una ganancia en masa muscular en estos parámetros aprovechando el trabajo realizado durante el periodo lesional.

b6) Evaluación nutricional y dietética: Las condiciones específicas del deportista lesionado demandan un análisis y corrección de la dieta y aporte nutricional. Los efectos de la inmovilización, la variación en la intensidad y características generales del entrenamiento, la necesidad de reforzamiento

muscular unido a los déficits nutricionales eventualmente detectados en la evaluación del paciente, determinan la importancia de una dieta y en su caso de unos suplementos adecuados. En especial, y en los casos de programas de alto requerimiento en volumen e intensidad de entrenamiento, se hace recomendable la prescripción médica de ayudas nutricionales de carácter ergogénico, lógicamente siempre dentro de la ética del deporte y la medicina.

b7) Evaluación psicológica: El deportista, sobre todo el de alto rendimiento, se enfrenta a unas importantes derivaciones psicológicas provenientes de su lesión. El cese temporal de lo que es una trascendente actividad en la vida del paciente/deportista, frecuentemente con importantes consecuencias socioeconómicas, no siempre es bien tolerada. Para gozar de la buena colaboración, que el programa de recuperación de la lesión precisa, es necesario muchas veces que los factores psicológicos sean bien controlados. Esta necesidad demanda una colaboración estrecha con el psicólogo deportivo, quien es el encargado de llevar a cabo la evaluación y el tratamiento si procede.

Un resumen de las conclusiones más significativas de la información proveniente de estas pruebas se registra en la hoja principal de presentación de la historia clínica.

c) Pruebas de valoración funcional motriz

El Área de Readaptación Física y Fisioterapia del Centro de Medicina del Deporte del CSD, dispone de un Laboratorio de Valoración Funcional dotado de Sistemas de Valoración Motriz (SVM), como son los Isocinéticos o el Posturógrafo Dinámico, constituyendo un instrumento muy eficaz en diversos aspectos relacionados con la valoración de la fuerza y el equilibrio ⁽¹³⁾. En concreto, permiten identificar desequilibrios biomecánicos, factores predisponentes en el deportista lesionado, unido a la consiguiente disminución del rendimiento deportivo. Estos sistemas son de gran ayuda en cuestiones tales como el diagnóstico de lesiones, el seguimiento monitorización del tratamiento rehabilitador y fisioterápico ^(6, 14).

El almacenaje y tratamiento de los datos de estas pruebas se realiza en Bases de Datos específicas (BDE), que hemos diseñado para este propósito. El informe de resultados y conclusiones es reportado desde estas BDE a la Base General de Readaptación Física (BDRF), reporte que se incluye en el Informe Final que se facilita al deportista.

c1) Pruebas Isocinéticas:

Los tests Isocinéticos han sido utilizados tanto en diagnóstico, como en programas de rehabilitación de la función neuromuscular. Debido al gran control que se tiene tanto de la velocidad, como de los segmentos implicados en el movimiento, se hacen recomendables para estudiar los patrones de activación nerviosa de los músculos a diferentes velocidades y especialmente las relaciones musculares de tipo agonista/antagonista, cuando se incrementa la velocidad o se modifica la posición del sujeto ^(15, 16). Los sistemas actuales nos permiten valorar las principales articulaciones del miembro superior (hombro, codo y muñeca); del miembro inferior (cadera, rodilla y tobillo) así como movimientos globales del tronco.

El diseño adecuado de los tests isocinéticos es el paso fundamental en la obtención e interpretación de los datos que suministra el aparato. A la hora de estandarizar los protocolos que se han de utilizar en las pruebas de valoración de fuerza isocinética, se debe prestar especial atención a aquellos factores que puedan alterar la exactitud y reproducibilidad de la valoración.

La selección del protocolo de estudio a utilizar vendrá finalmente determinada por varios factores, como el grupo muscular a valorar, la fase del programa de rehabilitación en que se encuentre, el tipo y cualidad de la fuerza a analizar, el nivel y la especialidad deportiva, la edad y condición física. En las *Tablas 1 y 2* se exponen propuestas de protocolos para la valoración de rodilla y tronco ⁽¹⁷⁾.

Tabla 1. Protocolo de valoración del balance muscular de la rodilla.

Test de Fuerza:	Velocidad (*)	Nº de Repeticiones	Descanso
Máxima	60 %/s	3	90 s.
Potencia	180 %/s	5	90 s.
Resistencia	300 %/s	15	-

(*) %/s (grados. segundo⁻¹)

Tabla 2. Protocolo de valoración del balance muscular de tronco.

Test de Fuerza:	Velocidad (*)	Nº de Repeticiones	Descanso
Máxima	60 %/s	10	90 s.
Potencia	90 %/s	10	90 s.
Resistencia	120 %/s	20	-

(*) %/s (grados. segundo⁻¹)

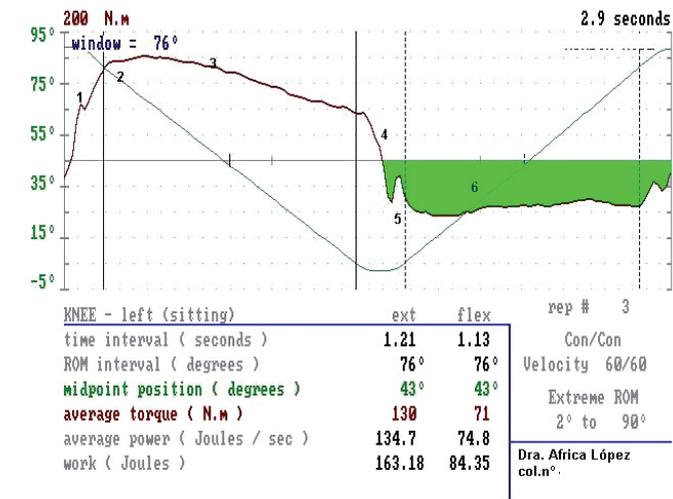
En la interpretación de una valoración isocinética es fundamental la elección de los parámetros más adecuados que reflejen el rendimiento muscular. Dado que la máquina nos aporta decenas de datos, estos no son manejables en la práctica clínica. En la Tabla 3, se puede apreciar los principales parámetros a valorar en un test isocinético, diseñados para valorar la lesión del deportista.

Tabla 3. Parámetros del test isocinético.

PT	Momento máximo de fuerza o "Peak torque"	Nw.m	El valor de fuerza máximo obtenido en una serie de ejercicios.
AST	Momento ángulo-específico	Nw.m	El valor del momento obtenido a ciertos ángulos prefijados del recorrido articular.
WP	Trabajo pico	Julios	La fuerza realizada por el espacio recorrido, viene dado por la superficie debajo de la curva.
PP	Potencia pico	Wattios	Trabajo máximo en una contracción dada dividido entre el tiempo total de contracción.
PTA	Ángulo del momento de fuerza máxima	Grados	El valor angular del recorrido articular donde se da el PT.
H/Q	Relación agonista / antagonistas	%	Es el cociente del momento máximo de fuerza del agonista y el antagonista.

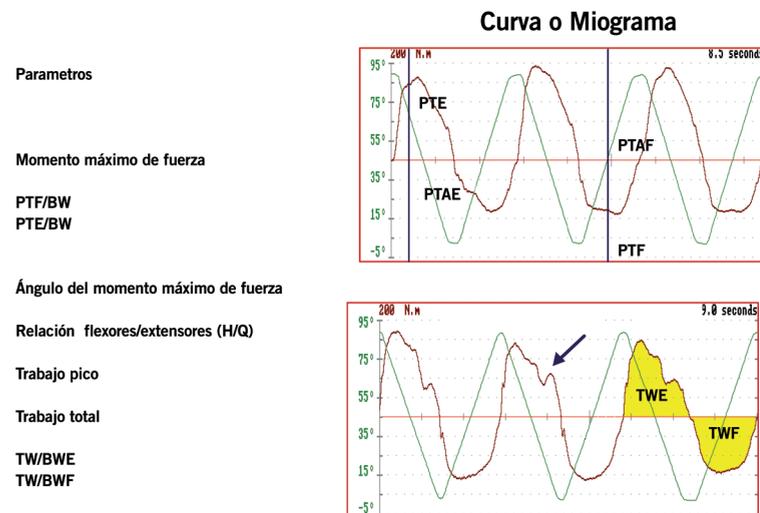
Además de los valores numéricos, los sistemas isocinéticos actuales proporcionan una representación gráfica de la curva de fuerza, obtenida mediante la representación de los valores de momento de fuerza en cada instante angular (Figura 3).

Figura 3. Miograma isocinético. Flexión extensión de rodilla.



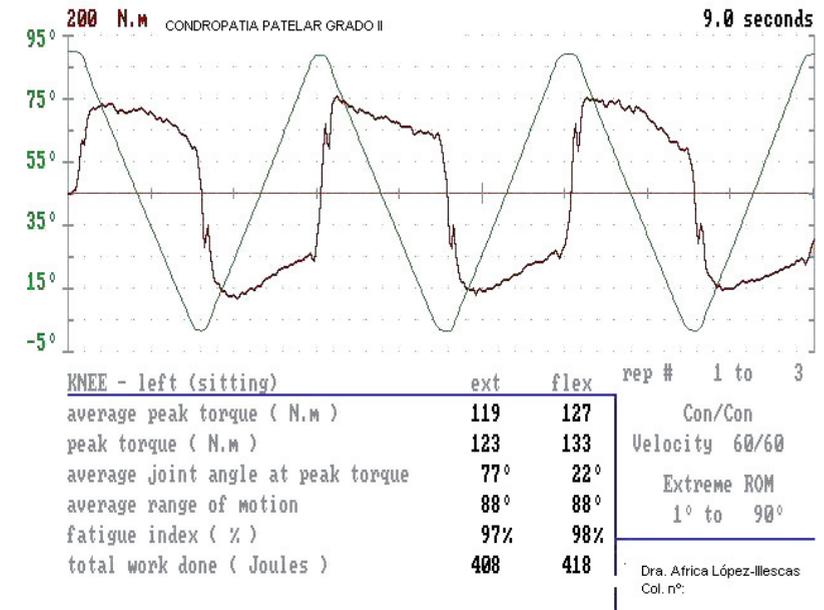
El análisis de esta curva de fuerza proporciona posibilidades de ampliar el valor de los tests de fuerza isocinética, en el campo de la detección y seguimiento de entidades patológicas, dado que la simple determinación de un parámetro numérico resulta poco representativa en el caso de déficit parcial de fuerza que ocurren en regiones determinadas del arco de movimiento (Figura 4).

Figura 4. Miograma isocinético patológico, se observa alteración últimos grados de extensión en rodilla.



Este déficit puede evidenciarse mediante el estudio de la morfología de la curva de fuerza característica de las diferentes patologías. (Figura 5).

Figura 5. Miograma isocinético de condropatía patelar.



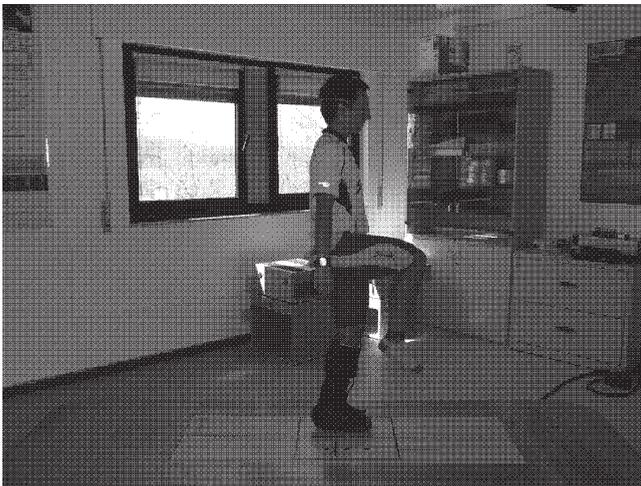
Los resultados y conclusiones de estos estudios son trasladados a la BDRF, para ser utilizados en el diseño del programa de fisioterapia y de readaptación física.

c2) Posturografía

Con el desarrollo de las plataformas de posturografía dinámica ⁽¹⁸⁾ se ha dado un gran paso no solo en la detección de las alteraciones del equilibrio, sino también en la contribución que tienen los distintos receptores sensoriales (vestíbulo, visión y sistema propioceptivo) en la coordinación y la intervención de ambos factores en la fuerza muscular.

El sistema cuantifica la posición del Centro de Gravedad corporal y su desplazamiento u oscilaciones corporales en relación a la vertical “Estabilidad estática”, así como la relación entre las fuerzas horizontales y verticales ejercidas para mantener el equilibrio en cada prueba, determinando el tipo de “Estrategia postural” utilizada (estrategia de cadera o de tobillo). Los movimientos realizados por el paciente, originan alteraciones de la presión de la base de sustentación de los pies ^(19, 20), que permiten representar en la pantalla del ordenador su posición en el espacio, con el fin de evaluar la “Estabilidad dinámica” y poder realizar las pruebas de valoración instrumental programados. Se han realizado tests con diferentes Ortesis que han aportado datos muy esclarecedores para su elección. *Figura 6*

Figura 6. Estabilometría y posturografía con ortesis de tobillo.



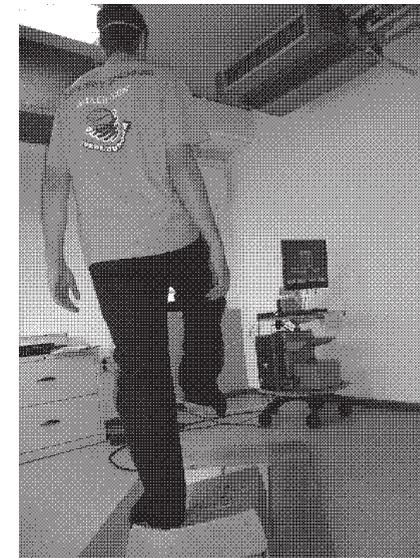
En la *Tabla 4* se muestra un modelo de pruebas de estabilometría y posturografía, para la evaluación de la tendinopatía patelar en jugadores de baloncesto.

Figura 7

Tabla 4: Modelo de protocolo de pruebas de estabilometría y posturografía

PRUEBAS	PARÁMETROS			
Test de Organización sensorial (CTSIB modificado)	VMB del CG sobre firme ojos abiertos	VMB del CG sobre firme con ojos cerrados	VMB del CG sobre almohadillado con ojos abiertos	VMB del CG sobre almohadillado con ojos cerrados
Límites de Estabilidad (LOS)	Tiempo de reacción	Velocidad de movimiento	Punto máximo de desplazamiento final	Control direccional
Desplazamiento Rítmico de Peso (Rhythmic Weight Shift)	Velocidad de ejes y control direccional			
Paso / giro rápido	Tiempo de giro	Desplazamiento durante giro		
Paso escalón impacto (Paso Arr / Enc)	Índice levantar	Tiempo de movimiento	Índice de impacto	
Paso estocada (Forward Lunge)	Distancia	Índice de impacto	Tiempo de contacto	Fuerza de impulso

Figura 7. Posturografía tests CTSIBmod baloncesto.



La posturografía aporta importantes datos en el análisis patomecánico del deportista lesionado. Una evaluación y cuantificación del deterioro específico y general contribuyen a esclarecer la etiología y factores predisponentes de la lesión. Es una herramienta muy útil, además para evaluar la evolución del paciente en el tratamiento.

8.3.2 Diagnóstico

De acuerdo a la práctica médica ortodoxa, la integración de la información de la anamnesis, exploración física y pruebas complementarias deriva en la emisión de un diagnóstico, pronóstico y tratamiento ⁽²⁾.

En nuestro caso, la definición del diagnóstico es ampliada introduciendo una valoración funcional integral y deportiva, dado que en nuestra estructura de Base de Datos el enunciado “campo diagnóstico” es considerado descriptor principal a efectos estadísticos y científicos, por lo que nos interesa reunir la mayor cantidad de información en este campo de la base de datos.

Por estas mismas razones ⁽²¹⁾, se utiliza una normalización lingüística en el “campo” diagnóstico según enunciados prefijados.

8.3.3 Fase de tratamiento

El tratamiento de la lesión deportiva es un proceso complejo que integra una gran cantidad de medios terapéuticos, tanto químicos como físicos. Si a esto le añadimos el cuidado de la condición física del deportista durante el periodo de lesión, demanda una estructura médica de diseño y seguimiento del tratamiento que en sí es la base del trabajo de la Unidad de Readaptación Física y Fisioterapia.

Dada la amplitud de los contenidos terapéuticos ⁽²²⁾ que se utilizan en el medio deportivo, consideramos la división de éstos en diferentes “guiones-tablas”, los cuales se exponen en la hoja principal de programa de tratamiento que es entregada al paciente. Esta hoja de “Programa de Tratamiento” es la guía de las actuaciones que se van a realizar a lo largo del periodo de lesión y se va actualizando en las fechas de revisión según la evolución y los cambios en la terapéutica.

El programa de tratamiento completo con todas sus hojas se ha diseñado para estar actualizado según una estructura de base de datos informatizada con el descriptor principal “diagnóstico”, de modo que el primer programa de tratamiento de cada diagnóstico es la plantilla de los siguientes registros con el mismo diagnóstico. Así, podemos crear plantillas como protocolos de tratamiento que, por supuesto, permiten ser modificados a la luz de nuevos conocimientos y que da una mayor agilidad en la práctica de la consulta diaria. Tanto las plantillas como los programas de tratamiento basados en las plantillas son sistemas abiertos para ser modificables en cualquier momento.

La presentación “INFORME-TRATAMIENTO”, está diseñada para ser impresa y entregada al paciente como una sola página tamaño A4, sirviendo además de receta médica y de recordatorio de fecha y hora de citas. Constituye la guía para las actuaciones terapéuticas durante el tiempo de baja, permitiendo sucesivas actualizaciones hasta la versión final, en la que se entrega el alta adjunta al informe clínico y que incluye el tratamiento y recomendaciones después de ésta. Consta de los siguientes apartados constituidos por “campos” desplegables:

Medicación: Farmacología a emplear por cualquier vía (excepto iontoforesis, expresada en el apartado de fisioterapia) con posología y duración de tratamiento.

Fisioterapia Deportiva: Se consigna en la hoja principal de tratamiento y se desarrolla el contenido del programa de fisioterapia en una hoja aparte. En ella se especifican las técnicas utilizadas y la metodología empleada, los protocolos de actuación, el nº de sesiones, la respuesta específica de la lesión y la evolución del paciente. Aspectos que no difieren de la práctica ortodoxa de la fisioterapia, además a ello se le añade las técnicas de tratamiento específicas a la biomecánica del deportista y desde el primer día se inicia por el fisioterapeuta la fase siguiente de Readaptación ⁽²⁾.(Figura 8)

Readaptación Física: La aplicación de un programa de readaptación física se consigna en la hoja principal de tratamiento (Programa de Tratamiento), el desarrollo y seguimiento de este programa es realizado por el médico, el fisioterapeuta, el equipo técnico del deportista-preparador físico y entrenador-, con el objetivo de readaptar las cualidades físicas básicas: Flexibilidad, movilidad, recorrido articular funcional,

fuerza muscular, resistencia y velocidad, coordinación y propiocepción⁽²³⁾. Cada uno de estos aspectos se consigna en una tabla que reporta los “datos resumen” al Informe Clínico. (Figura 9).

El apoyo a la readaptación físico deportiva mediante suplementos nutricionales y ayudas ergogénicas, y el apoyo psicológico es dirigido por los especialistas correspondientes.

Figura 8. Base de datos de Readaptación Física. Guión programa de Fisioterapia.

FICHA PARA FISIOTERAPIA

APellidos: _____ Nombre: _____
 Deporte: _____ Especialidad: _____ N° Registro: _____
 N° Prog Trat: _____ Fecha: _____
 Fisioterapeuta: _____ Fecha lesión: _____
 Diagnóstico: SOBRECARGA MUSCULAR EN ZONA DE CUADRADO LUMBAR

VALORACION FUNCIONAL/ EVOLUTIVA
 BA: ROM: limitación de la flexión antalgica.
 SEGMENTO RIGIDO DORSAL Y LUMBAR asociado a hiper movilidad e hipersolicitud de la chamele lumbosacra...
 PD: Molestias a la palpación en la zona lumbar paravertebral sin apofisalgia...
 Puntos de Valeix negativo. Dolor a la palpación en palas iliacas + izda. Lasseque (-)

CIE_10

TRATAMIENTO DE LA CICATRIZ: LIBERACION + ANALGESIA
 FLEXIBILIDAD
 ESTIRAMIENTOS PNF
 PROGRAMA RPG
 MASOTERAPIA
 VENDAJE FUNCIONAL
 PARAFINA
 PROPIOCEPCION (FASE 1 SIN APOYO)
 CRITERAPIA
 ULTRASONIDOS

Tratamiento a partir de la 2 sesión:

Figura 9. Base de datos de Readaptación Física. Guión programa de Readaptación Deportiva.

PROGRAMA DE READAPTACION FISICA: resistencia y velocidad

APellidos: _____ Nombre: _____
 Deporte: _____ Especialidad: _____ N° Registro: _____
 N° Prog Trat: _____ Fecha: _____
 Diagnóstico: RUTURA GRADO I BICEPS BRAQUIAL

Fecha	Ejercicio	Medio	FC	Dist	Tie	Reps	Drps	Series	Dser	Observaciones
	Carrera continua									
	Carrera con cuerdas									
	Fartlek									
	Sprints									
	Retrocarrera									
	Caminar									
	Natación estilo libre									
	Natación espalda									
	Correr en agua									
	Escalera									
		Terreno blando								
		Pista								
		Asfalto								
		Carita rodante								
		Ricicleta								

8.3.4 Informe clínico

La base de datos utilizada se completa con una presentación de informe clínico diseñada para ser impresa y entregada al paciente en cualquier momento. Utiliza una selección de campos de la presentación “Historia Clínica” para una redacción automática que puede lógicamente ser modificada. La estructura sigue las pautas generalmente estandarizadas para la redacción de informes clínicos. Una estructura de impresión de campos deslizantes permite una presentación correcta independientemente de la extensión del informe.

8.4 Conclusiones y resultados

En el tratamiento del deportista lesionado los conceptos de diagnóstico etiológico: tiempo de reposo, grado de funcionalidad y secuelas; están en continua revisión y representan un verdadero hándicap para el médico.

El concepto que aporta la medicina del deporte a la rehabilitación clásica, en este campo, diferencia entre “objetivos clínicos” (retorno a las “actividades de la vida diaria”, AVD) y “objetivos funcionales” (retorno al mismo nivel de rendimiento deportivo).

La rehabilitación no debe de estar basada sólo en los síntomas, sino en los déficits respecto al objetivo FUNCIONAL previsto. Si no se solucionan los problemas que han llevado a la pérdida de este nivel funcional, se llegará a la pérdida de rendimiento, a la recurrencia de la lesión o a ambas.

Decir a un deportista que debe de suspender el ejercicio físico es inefectivo. En deportistas, reposo no debe de ser igual a inactividad.

El contexto actual en el que el deporte de alta competición se mueve, exige nuevos conceptos en el tratamiento de la lesión. La aplicación precoz de programas de readaptación física permite la aceleración del proceso de vuelta al pleno rendimiento en aquellos pacientes con reales deseos de colaborar, los cuales suelen encontrarse en el medio deportivo, pero también fuera de él.

El Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes dispone de los medios para llevar a cabo una precoz recuperación de las lesiones de los deportistas de referencia, mediante la aplicación de estos programas. La utilización de una historia clínica informatizada aporta todas las ventajas ya reconocidas en cuanto a tratamiento de los datos clínicos, realizadas para nuestros propósitos por la posibilidad de ofrecer una información completa y comprensiva al deportista sobre las pautas de readaptación física incluidas en su tratamiento.

Desde 1992 se han realizado 3200 pruebas isocinéticas. Entre las articulaciones estudiadas se cuenta con estudios de rodilla, tobillo, hombro y más recientemente espalda, por lo que se puede considerar uno de los centros pioneros en Europa en este tipo de tecnología.

Los resultados de estas pruebas han sido una importante fuente de datos para los estudios de investigación en este campo. La valoración

computerizada de la columna vertebral que dió como resultado un trabajo presentado en el I Symposium Internacional de Rehabilitación en Patología Vertebral y Deportiva (López-Illescas et al, 2004), fue galardonado con el premio Wagenaker.

Algunos resultados han sido publicados por el Grupo de Estudio de la patomotricidad y Readaptación de Deportistas (GEPYRD-CSD) ^(15, 17, 21) y por el Centro de Transferencia Tecnológica en Informática y Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid (CETTICO) ^(6,9,10), correspondiendo con la realización de diversos proyectos de investigación para la valoración isocinética de la rodilla:

- “ISODEPOR: Interfaz para la Interpretación de Isocinéticos en el Ámbito Deportivo”, subvencionado por el CSD.
- “ISOCIN”, subvencionado por la ONCE.
- “I4: Modelo Inteligente para la Interpretación de Pruebas Isocinéticas”, subvencionado por la CICYT (TIC98-0248).
- “VIIP: Sistema Inteligente para el Análisis, Integración y Valoración Isocinética-Posturográfica de la Columna Vertebral”. Proyecto DEP2005-00232-C03-02. Subvencionado por la Subdirección de Investigación. Acción estratégica sobre deporte y actividad física, en el marco de algunos programas nacionales del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica. 2005-2008.
- “APIR1: Diseño de un método de análisis funcional y monitorización de rehabilitación en patología tendinosa de rodilla en deportistas”, subvencionado por la Fundación Universidad Alfonso X el Sabio – Banco Santander. 2010.

En la actualidad se está investigando en la interrelación de las pruebas isocinéticas y posturográficas. No se han encontrado en la literatura estudios que interrelacionen estas pruebas y son escasos los estudios en valoración motriz; no obstante algunos resultados previos son prometedores ⁽²⁴⁾. Esperamos que el posturógrafo permita discernir el componente somatosensorial y sus implicaciones en la motricidad, en las alteraciones de la motricidad evidenciadas por técnicas isocinéticas en el deportista lesionado.

1. Joel W. Beam. Rehabilitation including sport-specific functional progression for the competitive athlete. *The Journal of Bodywork*. 6 (4): 205-219, 2002.
2. Olmo Navas, J. La rehabilitación en el deporte. *Arbor*. CLXV (650): 227-248, 2000.
3. Eckenrode, B.J.; Logerstedt, D.S.; Sennett, B.J. Rehabilitation and functional outcomes in collegiate wrestlers following a posterior shoulder stabilization procedure. *Journal Orthop Sports Phys Ther*. 39 (7): 550-559, 2009.
4. Todd Ellenbecker, Mark De Carlo, Carl DeRosa. *Effective Functional Progressions in Sport Rehabilitation*. Leeds: Human Kinetics, 2009.
5. Eunkuk Kim MD, Taegyu Kim PT, Hyunyong Kang Jongha Lee, and Martin K. Childers. Aquatic versus Land-based Exercises as Early Functional Rehabilitation Athletes with Acute Lower Extremity Ligament Injury: A Pilot Study. American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation. Published by Elsevier, 2009.
6. Caraça Valente, J.P.; López Illescas, A. ISODEPOR : Sistema para la interpretación de una máquina de isocinéticos. En: *Aplicación de nuevas tecnologías en medicina deportiva*. ICD 27. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2000.
7. Santamaría, A.; López Illescas, A.; Pérez Pérez, A.; Caraça Valente, J.P. Towards Symbolic Data Mining in Numerical Time Series. Lecture Notes in Computer Science, Research and Development in Intelligent Systems XXI. Springer Verlag, 2004.
8. Alonso, F.; López Illescas, A.; Martínez, L.; Montes, C.; Valente, J. P. Analysis of strength data based on expert knowledge. (Medical Data Analysis). *Lecture Notes in Computer Scienc*. 2199: 35-41, Springer Verlag. Berlin. Heidelberg, 2001.
9. Alonso, F.; López Illescas, A.; Martínez, L.; Montes, C.; Valente, J.P. Knowledge Discovery Using Medical Data Mining. (Medical Data Analysis). *Lecture Notes in Computer Science*. 2526: 1-12, 2002.
10. Caraça Valente, J.P. and López Illescas, A. Intelligent Analysis of Isokinetic Data (Research Reports on Sport And Health) En: *European College of Sports Science*. Edited by Janne Avela, Paavo V. Komi, Jyrki Komulainen. Jyväskylä (Finland), 2000.
11. Stefano Mazzoleni, Andras Toth, Marko Munih, Jo Van Vaerenbergh, Giuseppe Cavallo, Silvestro Micera, Paolo Dario and Eugenio Guglielmelli. Whole-body isometric force/torque measurements for functional assessment in neuro-rehabilitation: platform design, development and verification. [Internet]. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 6 (38); 2009. <http://www.jneuroengrehab.com/content/pdf/1743-0003-6-38.pdf> (2009).
12. Santamaría, A., Pérez Pérez, A, Valente, J.P., López Illescas, A. Knowledge Extraction from Time Series Databases. Lecture Notes in Computer Science, The Symposium on Professional Practice in Artificial Intelligence, 2005.
13. Rochcongar, P; Isokinetic thigh muscle strength in sports: a review. *Ann Readapt Med Phys*, 47 (6): 274-81, Aug 2004.
14. Caraça Valente, J.P., López-Illescas, A. Intelligent Analysis of Isokinetic Data (Research Reports on Sport And Health). Edited by Janne Avela, Paavo V. Komi, Jyrki Komulainen. Jyväskylä (Finland), Jul 2001.
15. López-Illescas, A.; Olmo Navas, J. La valoración isocinética de la fuerza muscular de la rodilla del deportista. *Selección Revista Española e Iberoamericana de Medicina de la Educación Física y el Deporte*, 9(3): 131-148, 2000.

16. López Illescas, A.; Caraça Valente, J.P.; López Román, A.; Entrala Bueno, A. Estudio de la fuerza isocinética en deportistas españoles de alto nivel. *Revista de la Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física*, 2002.
17. Olmo, J.; López Illescas, A.; Martín, I.; Jato, S.; Rodríguez, L.P. Knee flexion and extensión strength and H/Q ratio in high level track and field athletes. *Isokinetics and Exercise Science*. 14 (3): p. 279-289. Tel Aviv (Israel), 2006.
18. L.M. Nashner, F.O Black and C. Wall 3d. Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular. *J. Neuroscience*, 5(2): 536-544, 1982.
19. López-Illescas, A.; Hernández Marín, I.; López Román, A.; Caraça Valente, J.P. Balance and postural control assess in elite ice skaters. *Archivos Medicina del Deporte*, 128: 585; Pamplona, 2008.
20. López-Illescas, A.; Pérez Toledano, J.J.; De Campos Gutiérrez de Calderón, A.; Caraça Valente, J.P. Assess of isokinetic trunk strength in elite basketball players. *Archivos Medicina del Deporte*, 128: 585-586; Pamplona, 2008.
21. Lara, J.A.; Pérez, A.; Valente, J.P.; López-Illescas, A. Comparing time series through events detection. Lecture notes in computer science. Jyväskylä (Finland), Jun 2008.
22. Leslie, Sarah R.; M.S. *Development of a soccer specific functional rehabilitation program using the Modified Delphi Technique*. [Dissertations & Theses]. West Virginia University, 2009.
23. Webster, K.A.; Gribble, P.A. Functional rehabilitation interventions for chronic ankle instability: a systematic review. *J. Sport Rehab*. 19(1): 98-114, 2010.
24. Saavedra, P.; Coronado, R.; Chávez, D.; Díez García, M.P.; Renán, S.; Granados, R.; Pérez, R.; González, R.; Escudero, M. Relación entre fuerza muscular y propiocepción de rodilla en sujetos asintomáticos. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*; 15: 17-23, 2003.

9. DIAGNÓSTICO Y DESARROLLO DE LAS ÁREAS FUNCIONALES DE INTENSIDAD DEL ENTRENAMIENTO. INTERRELACIÓN CON LOS ESTUDIOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO

En primer lugar, es necesario señalar cuáles son los aspectos más importantes sobre los mecanismos de obtención de energía. Básicamente, como todo el mundo conoce, los sistemas energéticos utilizados son:

- Aeróbico: Lípidos, Hidrato de Carbono (HC), Proteínas.
- Anaeróbico: Láctico (Glucolítico) y Aláctico (Fosfágeno).

La utilización de uno u otro sistema de obtención de energía dependerá de la intensidad y la duración del ejercicio. El predominio del sistema de aporte de energía puede aparecer de forma marcada o moderada.

Siempre hay participación, en mayor o menor grado, de todos los sistemas de producción de energía, dependiendo este grado, lógicamente, de si es un ejercicio aeróbico o anaeróbico.

Los Hidratos de Carbono, combustible por excelencia, son los únicos que trabajan en el sistema aeróbico y en el sistema anaeróbico láctico.

9.1. Fuentes de energía según el sistema energético utilizado

9.1.1 El sistema aeróbico obtiene la energía a expensas de:

- Lípidos: este substrato energético se utiliza en ejercicios que tengan una intensidad $\leq 70\%$ de la frecuencia cardiaca máxima (FC Máx.). Necesita de una presencia elevada de O_2 , y ocurre durante el reposo y en actividades leves-moderadas cotidianas y durante el ejercicio de baja intensidad. Se almacena en forma de triglicéridos en el tejido subcutáneo.
- Hidratos de Carbono: se utilizan cuando aumenta la intensidad del esfuerzo al $70 - 85\%$ FC Máx, que en deportistas de resistencia en el alto rendimiento puede ser hasta cerca del 90% . En personas con baja frecuencia cardiaca, el trabajo aeróbico puede ser $< 85\%$ FC Máx. Se almacena en forma de Glucógeno en los músculos y en el hígado.
- Proteínas. El organismo trata de utilizarlas lo menos posible como fuente de energía, debido a sus importantes funciones constructivas y reparadoras. Se utiliza cuando las reservas de Glucógeno se agotan. Su almacén principal está en los músculos.

9.1.2 El sistema anaeróbico láctico o glucolítico tiene como fuente de energía a los Hidratos de Carbono

Se recurre a este sistema cuando es necesaria una obtención rápida de energía. Se realiza en ausencia de O_2 . Hay una producción pequeña de ATP por molécula de glucosa: 2 a 3 ATP, dependiendo de si se extrae del Glucógeno almacenado o de la glucosa presente en sangre. Además hay producción de ácido láctico > 4 mmol/L. Predomina en actividades intensas o muy intensas entre 20" y 150" de duración, situaciones en las que los deportistas de alto rendimiento entrenados pueden llegar a producir más de 18 mmol/L de lactato.

La intensidad no se puede mantener a ese ritmo por un tiempo prolongado, porque se produce una acumulación del ácido láctico y una caída del pH.

Al final del ejercicio, el ácido láctico se reconvierte en piruvato. Existe una deuda de O₂, que se tiene que restituir después del ejercicio.

9.1.3 El sistema anaeróbico aláctico o sistema del Fosfágeno obtiene la energía del Creatín Fosfato

- La obtención de energía es muy rápida. Se realiza en ausencia de O₂.
- Producción pequeña de ATP, 1 mol de Creatín Fosfato produce 1 ATP.
- La producción de ácido láctico es menor 4 mmol/L.
- Predomina en actividades muy intensas y de duración muy corta, particularmente entre 8" y 15".
- La intensidad no puede mantenerse más de 20", ya que las reservas de Creatín fosfato en el interior del músculo se agotan.
- Si el ejercicio dura más, entonces el sistema anaeróbico láctico predominará en el aporte energético.

9.1.4 Puntualizaciones sobre el aporte energético de predominio anaeróbico aláctico o anaeróbico láctico. Recuperación de estas fuentes de energía

Restauración del Creatín Fosfato. (FOX et al, 1989)

- Se restaura el 30 % del Creatín fosfato a los 30" de recuperación, y entre los 3' y 5' ya se encuentra totalmente recuperado.
- Cuando entrenamos la potencia anaeróbica aláctica, debemos asegurar que antes de iniciar otra repetición o serie, el deportista tenga una FC ≤ 100 Lpm.
- Una mala recuperación no permite la restauración del Creatín fosfato y empieza a predominar la utilización de Hidratos de Carbono de forma anaeróbica láctica con producción importante de lactato, no cumpliéndose el objetivo de entrenamiento de la sesión, con sobrecarga para el deportista.
- Cuando situaciones como ésta se repiten a lo largo de un microciclo, o durante varios microciclos, se va produciendo una acumulación de fatiga residual que nos puede conducir al "sobrentrenamiento deportivo".

Restauración del Glucógeno. (FOX et al, 1989)

- Su restauración depende de la intensidad y duración del ejercicio, así como de la vía energética utilizada, la recuperación y las reservas de Glucógeno.
- Es muy importante una alimentación equilibrada con un % importante de Hidratos de Carbono de calidad para asegurar los depósitos de Glucógeno.
- La restauración del Glucógeno es mucho más lenta que la del Creatín fosfato, pudiendo durar desde horas, hasta más de un día, y en ocasiones 2-3 días.
- Cuando las reservas de Glucógeno se agotan y se está trabajando de forma aeróbica a más del 80% FC Máx., se comienzan a utilizar como fuente de energía los aminoácidos.
- Esta situación a largo plazo, produce fatiga crónica, con predominio catabólico.
- Cuando entrenamos el sistema anaeróbico láctico, dependiendo de la recuperación y la intensidad, pero sobre todo de la recuperación, estaremos trabajando potencia o capacidad láctica. Cuando entrenamos la potencia anaeróbica láctica, debemos garantizar que antes de iniciar otra repetición o serie, el deportista tenga una FC menor de 100 Lpm. En caso de la capacidad o tolerancia anaeróbica láctica, el deportista, antes de iniciar otra repetición o serie, debe tener FC inferior a 120 Lpm.
- Si no se cumple con la relación entrenamiento/descanso, se incumplen los objetivos de la sesión de entrenamiento, sobrecargando a su vez al deportista. Si no hacemos bien la recuperación cuando estamos entrenando supuestamente la potencia anaeróbica láctica, lo que estamos haciendo en realidad es entrenar la capacidad anaeróbica láctica. Situaciones como éstas inevitablemente acumulan fatiga residual y son la base fundamental del sobreentrenamiento cuando se mantiene durante varios microciclos.

9.2 Clasificación en grupos deportivos según su metodología y las áreas funcionales de intensidad del entrenamiento

La clasificación de la antigua escuela soviética de los grupos deportivos metodológicos sigue teniendo un gran interés, ya que permite agrupar las disciplinas deportivas por características técnicas y tácticas de los deportes, teniendo en cuenta también la fuente energética requerida para la preparación de los deportistas ante las principales competiciones de la temporada.

Esta clasificación está dividida en cinco grupos:

- Disciplinas de fuerza rápida y velocidad
- Disciplinas de coordinación y artes competitivas
- Disciplinas de combate
- Disciplinas de equipo y juegos con pelota
- Disciplinas de resistencia

Partiendo de la eficiencia que demandan las disciplinas deportivas para mejorar su rendimiento deportivo y teniendo en cuenta el desarrollo funcional de los deportistas, consideramos el porcentaje del Umbral Anaeróbico (UA) como una variable a considerar y a desarrollar en las diferentes disciplinas deportivas.

Nuestra propuesta de clasificación según el porcentaje del Umbral Anaeróbico es:

- 90 – 93 % VO_2 Máx. :
Disciplinas de Resistencia: atletismo (≥ 3.000 m.); natación (≥ 800 m.); ciclismo de carretera, triatlón, esquí de fondo.
- 85 – 90 % VO_2 Máx. :
Disciplinas de Resistencia con Fuerza: atletismo (800 y 1.500 m.); natación (50 hasta 400 m.); ciclismo de velocidad, piragüismo, remo.
- 75 – 85% VO_2 Máx. :
Disciplinas de Fuerza rápida – Velocidad: deportes de equipo; disciplinas de combate; de coordinación y artes competitivas.

No obstante hay que considerar que la intensidad del entrenamiento o de la competición se refleja mediante componentes físicos, biológicos, etc. como son entre otros:

- % de intensidad del mejor tiempo (m./seg., km./min.), wats, complejidad de las cargas. Evaluación del gesto deportivo.
- % FC Máx. o % VO_2 Máx.
- Producción de lactato, proteinuria.
- Biomarcadores: Testosterona, Cortisol, Urea, Creatín Fosfoquinasa, Ferritina.
- Ergoespirometría: VO_2 Máx./ Kg., UA.
- Percepción de esfuerzo.

Las áreas de intensidad del entrenamiento se pueden desarrollar tanto en las disciplinas cíclicas como en las acíclicas.

En las disciplinas cíclicas como son las de resistencia y las de velocidad en atletismo, el acto motor está asociado a movimientos repetitivos, que actúan desarrollando las capacidades físicas generales y específicas del deporte mediante métodos continuos o fraccionados, en su mayoría a través del propio gesto.

Las disciplinas acíclicas y acíclicas combinadas son acciones complejas realizadas con diferentes movimientos. Entre ellas se encuentran los deportes de equipo, de combate, disciplinas de lanzamiento y de salto en atletismo, gimnasia, etc. En los entrenamientos se desarrollan las capacidades específicas propias del deporte y, en ocasiones, necesitan entrenar en diferentes momentos aquellas áreas funcionales de intensidad necesarias para el desarrollo de las capacidades funcionales y morfológicas que puedan transferirse al gesto deportivo de su disciplina.

9.2.1 Descripción de las Áreas Funcionales de Intensidad del Entrenamiento.

Tomando como base la revisión de especialistas de referencia internacional y de nuestro trabajo como médicos del deporte en la alta competición, proponemos dividir las áreas funcionales del entrenamiento en seis, una de ellas hasta en tres sub-áreas, por lo cual podríamos llegar a contar hasta con ocho áreas de intensidad.

- Área 1: Resistencia Regenerativa
- Área 2: Umbral Aeróbico
- Área 3: Umbral Anaeróbico (UA)
- Área 4: Potencia Aeróbica
- Área 5: Potencia Anaeróbica
 - Capacidad Anaeróbica Láctica
 - Potencia Anaeróbica Láctica
 - Potencia Anaeróbica Aláctica
- Área 6: Máximo o Competitivo

Área 1: Resistencia Regenerativa

- Energía: predominio de lípidos
- Fisiología: recuperación activa o regenerativa.
- Tipo de entrenamiento: Continuo de 30' – 60' o como parte final de un entrenamiento, 10' – 15'.
- Cuidar los excesos en las disciplinas de velocidad y fuerza.
- FC \leq 70 % FC Máx., \leq 65 % VO₂ Máx.
- Lactato < 2 Mmol/L
- Percepción de esfuerzo: muy leve (< 11 escala Borg)

Área 2: Umbral Aeróbico

- Energía: predominio de HC aeróbico, también de lípidos en baja intensidad (70 – 75 % FC Máx).
- Fisiología: Base de capacidad aeróbica.
- Tipo de entrenamiento: Continuo 20 – 90'/sesión.
- Ejemplo: 5.000 m. o 3.000 m. lisos.
- Lactato: 2 – 3 Mmol/L.
- Percepción de esfuerzo: Leve (12 – 13).

Disciplinas	LPM	% FC Máx.	% VO ₂ Máx.	% Mejor Tiempo
Resistencia	130 – 170	70 – 92	65 – 89	65 – 89
Resistencia con Fuerza	130 – 170	70 – 90	65 – 85	65 – 85
No Resistencia	130 – 170	70 – 85	65 – 80	65 – 80

Área 3: Umbral Anaeróbico

- Energía: Predominio HC aeróbico
- Fisiología: capacidad aeróbica. Economiza y potencia el VO₂ Máx/kg

- Muy importante para las disciplinas de resistencia.
- Tipo de entrenamiento:
 - a) Continuo 20' – 30' hasta 90'.
 - b) Fraccionado – Interválico:
 - Duración de las repeticiones entre 4 – 20'.
 - Recuperación entre cada repetición \leq 90" – 2' o FC \leq 100 Lpm.
 - Máxima duración del trabajo incluida la recuperación de 90'.
 - Ejemplo en la pista: 3 a 5 repeticiones de 1.000 m. o 1.500 m. lisos.
- Lactato: 3-4 Mmol /L.
- Percepción de esfuerzo: Moderado (14 – 15).

Disciplinas	LPM	% FC Máx.	% VO ₂ Máx.	% Mejor Tiempo
Resistencia	165 – 185	93 – 95	90 – 93	90 – 93
Resistencia con Fuerza	165 – 180	90 – 93	85 – 90	85 – 90
No Resistencia	160 – 180	80 – 90	75 – 85	75 – 85

En la ergoespirometría podemos identificar el Umbral Anaeróbico mediante:

- Segundo cambio desproporcionado y no lineal de la ventilación.
- Aumento no lineal VE/VO₂ con aumento simultáneo de VE/VCO₂.
- Elevación de PET O₂ con disminución recíproca de PET CO₂.
- Otro elemento a considerar es el coeficiente respiratorio: (R) = CO₂ Producido/O₂ consumido. Lo cual debe coincidir con niveles de Lactato 3 – 4 mmol/L.

La mejora del Umbral Anaeróbico se alcanza con un entrenamiento individualizado y provoca efectos favorables, logrando con una intensidad mayor de trabajo, una menor producción de lactato y una mejor capacidad de eliminación del mismo, sin que se produzca fatiga.

El Umbral Anaeróbico se alcanza con un incremento del VO_2 Máx./Kg., lo que garantiza el aumento del rendimiento deportivo, en todas las disciplinas, principalmente en los eventos de resistencia.

Área 4: Potencia Aeróbica

- Energía: HC aeróbico y anaeróbico.
- Fisiología: Potencia Aeróbica e incremento del VO_2 Máximo. Importante en el Rendimiento.
- Tipo de entrenamiento: Fraccionado – Interválico extensivo largo. Duración de cada repetición de 3 – 6'. Repeticiones máximas: 4. La recuperación debe ser $\frac{1}{2}$ o $\frac{3}{4}$ del tiempo de cada repetición o $FC \leq 100$.
- Ejemplo: entre 3 a 4 repeticiones de 1.000 m. o 1.500 m. lisos.
- Lactato: > 5 (7 – 9).
- Percepción de esfuerzo: Intenso (16 – 17).

Disciplinas	LPM	% FC Máx.	% VO_2 Máx.	% Mejor Tiempo
Resistencia	175 – 190	93 – 95	92 – 97	92 – 97
Resistencia con Fuerza	175 – 190	90 – 93	92 – 95	92 – 95
No Resistencia	170 – 190	80 – 90	85 – 89	85 – 89

Área 5: Potencia Anaeróbica

- Capacidad o Resistencia Anaeróbica Láctica.
- Potencia o Tolerancia Anaeróbica Láctica.
- Potencia Anaeróbica Aláctica*.

Disciplinas	LPM *	% FC Máx. *	% VO_2 Máx.	% Mejor Tiempo
Resistencia	≥ 190	94 – 98	93 – 98	93 – 98
Resistencia con Fuerza	≥ 190	95 – 98	92 – 97	92 – 97
No Resistencia	≥ 190	94 – 98	90 – 97	90 – 97

* Potencia Anaeróbica Aláctica ≤ 170 LPM

- Capacidad Anaeróbica Láctica
- Energía: HC anaeróbico.
- Fisiología: capacidad y resistencia láctica.
- Tipo de Entrenamiento: fraccionado – interválico con duración entre 45" – 2'30", y a una intensidad de 95 –

97%. Recuperación entre cada repetición igual que el tiempo de la repetición o $FC \leq 120$.

No deben ser más de 4 repeticiones.

Ejemplo: 3 a 4 repeticiones de 400 m. lisos.

- Lactato 9 – 12.
- Percepción de esfuerzo: muy intenso (18 – 19).

* El exceso de este entrenamiento y la falta de recuperación entre las sesiones pueden ser peligrosos para el desarrollo de los atletas

- Potencia Anaeróbica Láctica.
- Energía predominio: HC anaeróbico.
- Fisiología: Potencia y Tolerancia Láctica.
- Tipo de Entrenamiento: Fraccionado – Repetición con duración entre 30" – 2', a una intensidad de 97 – 99 %. Relación entrenamiento – descanso de 1 a 10, o sea, si la repetición es de 1'20", la recuperación debe ser de 12' y/o $FC \leq 100$.
- No deben ser más de 4 repeticiones.
- Un ejemplo: entre 3 a 4 repeticiones de 400 m. lisos. Duración total oscila entre 25' – 45', incluida la recuperación.
- Lactato > 12 .
- Percepción de esfuerzo: muy intenso (18-19).

- Potencia Anaeróbica Aláctica
- Energía: Predominio: Creatín Fosfoquinasa.
- Fisiología: Potencia Aláctica. Producción y recuperación de Creatín Fosfoquinasa.
- Tipo de Entrenamiento: Fraccionado – Repetición con duración entre 8" – 12", a una intensidad de 99 – 100 %. Recuperación entre cada repetición, de 2' o $FC \leq 100$, para garantizar la recuperación del Creatín Fosfoquinasa. Repeticiones: 6 – 8.
- Un ejemplo: 6 repeticiones de 60 m. lisos.
- Lactato ≤ 7 .
- Percepción de esfuerzo: muy intenso (18 – 19).

* Débil recuperación entre las repeticiones, provoca que el atleta tiene que obtener la energía con predominio del metabolismo anaeróbico láctico.

Área 6: Máximo o Competitivo

- 100 % desde la ejecución de la disciplina: 50 – 1.500 m. natación, 100 m. maratón atletismo; kayak; “esfuerzo máximo” en la deportes como: fútbol, voleibol, judo, gimnasia, halterofilia, etc.
- Participan las fuentes de energía necesarias para la realización del gesto deportivo a una máxima intensidad o la más efectiva según la disciplina.
- FC \geq 190, pudiendo en ocasiones por las propias características del deporte, tener menos de 190 Lpm.
- Lactato \geq 8. Dependiendo de los deportes, se pueden encontrar cifras entre 12 a 20 mmol e incluso superiores.
- Percepción de esfuerzo: Puede llegar a ser extremadamente intenso en la escala Borg (20) en los deportes continuos. También se puede manifestar en ocasiones en los deportes aciclicos.

9.2.2 Relación de las cargas con las áreas de intensidad y las capacidades funcionales

- La Resistencia Regenerativa y el Umbral Aeróbico pueden ser trabajados en todas las sesiones. Estas dos áreas no deben ser muy utilizadas para las disciplinas que no sean de resistencia.
- Después del entrenamiento, si no existe otra planificación, sería favorable, en ocasiones, dedicar entre 10 – 15 minutos a la Resistencia Regenerativa. También se podría planificar posterior a la competición, como parte de la recuperación activa o regenerativa.
- El Umbral Anaeróbico se puede entrenar cada 24 o 48 horas, dependiendo de las características funcionales de la disciplina deportiva, así como de la duración e intensidad del último entrenamiento.
- La Potencia Aeróbica (VO₂ Máx.) se puede entrenar cada 48 h.
- La Capacidad Anaeróbica Láctica y Potencia Anaeróbica Láctica se pueden entrenar cada 72 horas.
- La Potencia Anaeróbica Aláctica (velocidad) se puede entrenar cada 24 horas si se realiza correctamente.

- La Fuerza Muscular se puede entrenar cada 48 horas. Se debe trabajar de 2 a 3 veces por semana, dependiendo de la etapa del entrenamiento. Debe realizarse en días alternos y como última sesión del entrenamiento del día. Es interesante, al día siguiente, dedicar la primera sesión para entrenar la Potencia Anaeróbica Aláctica.

9.2.3 Consideraciones sobre las áreas de intensidad y las capacidades funcionales resistencia, velocidad y fuerza.

- Al día siguiente de trabajar la Fuerza Muscular en el gimnasio, debemos entrenar ejercicios de Velocidad pura (Anaeróbico Aláctico), entrenamiento Pliométrico, o entrenar el gesto específico del deporte de manera que se logre transformar la Fuerza General en Fuerza o Potencia específica de la disciplina deportiva.
- Si por limitaciones de tiempo solo disponemos de una sola sesión de entrenamiento, cuando corresponda entrenar la Fuerza u otro elemento específico del deporte, sugerimos iniciar entrenando la disciplina deportiva con una sesión de descanso de 15 – 20 minutos, una buena hidratación y culminar la sesión con el entrenamiento de Fuerza.
- Cuando no se cumplen los objetivos de recuperación, entre repeticiones y/o series durante el entrenamiento, será deficiente la recuperación cardiovascular, metabólica, así como del aparato locomotor. Esta situación se observa mucho cuando se entrena el Área Anaeróbica Aláctica, donde ocurre el agotamiento de las reservas del Creatín Fosfoquinasa. Ante ello, la única posibilidad del organismo es obtener la energía necesaria mediante el metabolismo anaeróbico láctico con una acumulación de lactato no planificada para esa sesión de entrenamiento. Cuando estos errores se repiten, van favoreciendo la acumulación de fatiga residual que puede ocasionar sobrecargas a nivel local en los principales grupos musculares que estamos entrenando con aparición de lesiones, o a nivel orgánico, dando lugar a la aparición de afectaciones relevantes, que de mantenerse podrían dar lugar a la manifestación de la fatiga crónica.

- Con preocupación observamos algunos criterios de técnicos deportivos que proponen que después de un entrenamiento intenso o de una competición, lo mejor para recuperar al deportista es entrenar en esa misma sesión a alta intensidad, para “lograr el mejor aclaramiento del lactato producido anteriormente y con ello una mejor recuperación”, lo cual contradice los principios de la fisiología del ejercicio en relación con la recuperación del deportista. Si se aplican estos conceptos tan erróneos, lo que se logra es sobrecargar al deportista, produciendo una acumulación de fatiga residual, que sobrecarga el aparato locomotor, así como el sistema cardiorrespiratorio y endocrino-metabólico. Lo recomendable después de un entrenamiento intenso o de una competición es, si es posible, hacer una vuelta a la calma mediante Resistencia Regenerativa, que sí es capaz de favorecer una mejor recuperación activa disminuyendo los niveles de ácido láctico.
- Los criterios de entrenamiento en "Bloques", con la finalidad de competir manteniendo la forma deportiva durante varias veces en el año (como consecuencia de la existencia de los 'Grandes Premios' y otras competiciones), van en contra de la longevidad deportiva y de la salud del deportista. Ello es aún más perjudicial si se aplica en las categorías inferiores, lo que da lugar a la pérdida constante de talentos deportivos. Para las categorías infantiles, cadetes, juniors e inclusive en algunos deportes para la categoría sub 23, recomendamos que el sistema de entrenamiento se base en los criterios de periodización de *Matveev*.
- La dosificación de las cargas de entrenamiento debe corresponderse con los períodos de crecimiento y desarrollo del niño y del adolescente, y cumplir con uno de los principios científicos del entrenamiento deportivo que es la preparación multilateral en edades infantiles, cadetes y júnior. Solo en los deportes de iniciación deportiva se podría incluir la especialización antes de la maduración biológica, pero con mucho cuidado.
- No solo es entrenar y competir, sino que hay que encontrar un lógico equilibrio que permita garantizar un buen control del entrenamiento a lo largo de la temporada, y velar mucho más por la calidad del entrenamiento que por la cantidad del mismo.

9.3 Importancia de los Tests de Campo para la Evaluación de las Áreas de Intensidad

Desde el Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes (CSD) se propone, para la valoración funcional del entrenamiento, las siguientes actuaciones en el ámbito de la Medicina del Deporte:

- Reconocimiento Médico Completo

A realizar en el Centro de Medicina del Deporte. Este reconocimiento puede ser realizado de una a cuatro veces en la temporada dependiendo de la disciplina deportiva y del nivel del deportista.

- Reconocimiento Médico Parcial

A realizar entre una a seis veces, dependiendo de la disciplina deportiva, del número de deportistas y de las posibilidades del Centro de Medicina del Deporte.

- Tests de Campo

Realizados por el colectivo de entrenadores de cada disciplina junto con el médico de la Federación. Algunos de estos tests deben programarse muy próximos al Reconocimiento Médico, para poder valorar en conjunto las diferentes áreas de intensidad funcional del entrenamiento.

En relación con los Tests de Campo hay que resaltar, sin duda, su gran importancia:

- Guardan relación con la intensidad, la calidad del entrenamiento y las respuestas biológicas que éste ocasiona, como: FC, lactato y proteinuria.
- Se realiza en el entrenamiento, durante la sesión dedicada a la evaluación de un área de intensidad y/o la aplicación de una técnica deportiva con el objetivo de verificar el cumplimiento de la calidad de la misma.

- Se realizan durante el entrenamiento para realizar la evaluación de las principales áreas funcionales de intensidad.
- Se puede realizar durante la competición.

Los Tests de Campo se correlacionan con los tests de ergoespirometría y con los tests de prevención de fatiga crónica a través de biomarcadores.

Su relación con los Reconocimientos Médicos de valoración funcional y de la salud, aportan una información relevante para el control del entrenamiento y el incremento del rendimiento deportivo, así como del cuidado de la salud de los deportistas.

Describimos dos tipos de Tests de Campo:

· Test de Campo General

Para la valoración y desarrollo de las áreas funcionales del entrenamiento y de la fuerza (1 repetición máxima de fuerza). En deportes del grupo de combate y del grupo de equipo y juegos con pelota, es interesante realizar tests en la pista de atletismo en distancias de 5.000 m. o 3.000 m. lisos, 1.000, 400 y 60 m. Esto nos permite obtener información de variables como: tiempo registrado, Km./h, FC, % FC Máx., VO₂ Máx./ Kg., Potencia Anaeróbica.

· Test de Campo Específico de la disciplina deportiva

Válidos para correlacionar el gesto deportivo con tests específicos, valorar la intensidad del test, la calidad técnico-táctica, el cumplimiento de la estrategia, la combatividad y respuestas biológicas tales como frecuencia cardiaca, lactato, etc.

A continuación, a modo de ejemplo, se presenta una propuesta de como efectuar los Tests de Campo Generales para el diagnóstico y desarrollo de las Áreas Funcionales de Intensidad del Entrenamiento, en disciplinas de combate y de deportes de equipo con pelota.

Según nuestra experiencia hemos podido trabajar en diferentes momentos aplicando estos tests en deportistas de alta competición de las

disciplinas de judo, boxeo, lucha, taekwondo, baloncesto, fútbol, béisbol, balonmano, voleibol y tenis. En la *Tabla 1* presentamos las diferentes áreas a desarrollar en la pista de atletismo.

Tabla 1. Tests de Campo General para las disciplinas de combate y de deportes de equipo y juegos con pelota, en la pista de atletismo.

Distancia en la pista de atletismo	Diagnóstico del Área de Intensidad	Desarrollo del Área de Intensidad
3.000 m. lisos (5.000 m. boxeo)	Capacidad Aeróbica	- Umbral Aeróbico (C) - Umbral Anaeróbico (C)
1.000 m.	Potencia Aeróbica	- Umbral Anaeróbico (F) - Potencia Aeróbica (F) 3 x 1.000 m.
400 m.	Potencia Anaeróbica Láctica	- Pot. Anaeróbica Láctica (F) - Capacidad Anaeróbica Láctica (F) 4 x 400 m.
60 m.	Potencia Anaeróbica Aláctica	- Potencia Anaeróbica Aláctica (F) 6 x 60

(C)= Método continuo (F)= Método fraccionado de entrenamiento

Al aplicar el Tests de Tokmakidis, para las distancias de 5.000 o 3.000 m. lisos, 1.000 y 400 m., nos permite llegar a conocer: consumo de oxígeno relativo (VO₂ Máx./kg.), recuperación FC, producción lactato. Potencia Aeróbica y Potencia Anaeróbica.

A continuación presentaremos los resultados de nuestra experiencia con la Federación Española de Boxeo (FEB).

Este trabajo fue muy bien acogido por la dirección técnica de la FEB, la cual creó un grupo multidisciplinar a partir de la temporada del 2007.

Los objetivos se centraban en la mejora de las capacidades motoras generales y su mejor transferencia para un gesto deportivo más eficiente y técnico, indispensable en el boxeo olímpico. Con la finalidad de lograr un estilo de combate más rápido y con mejor coordinación, garantizando el ritmo que exige el boxeo olímpico -sin perder resistencia a lo largo del mismo-, se introdujeron modificaciones en la preparación física en la pista de atletismo, así como en el entrenamiento específico del boxeo.

Esta estrategia se trabaja tanto en la etapa preparatoria general como en la específica. A medida que se avanza en el entrenamiento específico hacia la etapa de competición, disminuye el entrenamiento general.

A continuación presentamos un corte del programa de 16 semanas que le fue aplicado a un deportista de boxeo de la categoría -57 Kg., como referencia se tomó el tiempo base en cada distancia para entrenar las áreas de intensidad.

A partir del estudio inicial en los laboratorios del Centro de Medicina del Deporte y de los Tests de Campo, se realizó la valoración funcional del deportista de una forma integral, que permitió diagnosticar el estado en cada momento, y a partir de ello, establecer las recomendaciones individuales del entrenamiento a realizar.

En la *Tabla 2* presentamos un resumen de los resultados de los Reconocimientos Médicos, en concreto datos de la Ergoespirometría y los Tests de Campo en las distancias de 5.000, 1.000, 400 y 60 m. lisos. Se pueden observar las respuestas biológicas a partir de los valores de: VO₂ Máx./kg, %FC Máx., lactato, así como el tiempo realizado en los Tests de Campo.

Tabla 2. Resumen de Tests de Campo y Ergoespirometría iniciales (Boxeo)

Estudios y tests. Resumen de Valoración Funcional.	Fecha	Crono	% FC Máx.	VO ₂ Máx / Kg	% UA	Lactato / min.
Ergoespirometría c/ ECG. Protocolo progresivo máximo en la cinta.	24/2	-	98,6	59,2	94,8	12,1/ 3'
Test 5.000 m.	26/3	20'23"	95,9	58,2	-	11,1/ 3'
Test 1.000 m.	28/3	3'16"	96,3	58,0	-	11,9/ 3'
Test 400 m.	30/3	1'04"	96,0	57,9	-	14,2/ 3'
Test 60 m.	30/3	7"97	-	-	-	4,9/ 1'

Tomando como referencia los tiempos realizados en el test inicial para las distancias de los 5.000, 1.000, 400 y 60 m. lisos en la pista de atletismo, podemos elaborar una propuesta de entrenamiento para este deportista en las distintas áreas de intensidad del entrenamiento. Ésto fue diseñado individualmente para cada uno de los boxeadores del equipo nacional.

En la *Tabla 3* se muestra el ejemplo para un deportista de la categoría de peso -57 Kg, en el que, a partir del test inicial, se planificó la intensidad con la que debería entrenar en cada área de intensidad funcional del entrenamiento.

Tabla 3. Desarrollo de las áreas de intensidad del entrenamiento a partir del tiempo realizado en test inicial.

	Umbral Aeróbico	Umbral Anaeróbico	Potencia Aeróbica	Capacidad Anaeróbica Láctica	Potencia Anaeróbica Láctica	Potencia Anaeróbica Aláctica
Distancia del test/crono	5.000 m. 20'23"	1.000 m. 3'16"	1.000 m. 3'16"	400 m. 1'04"	400 m. 1'04"	60 m. lisos 7",97
% Mejor tiempo/crono	78-80% 24'27"-24'52"	83-85 % 3'45"-3'49"	87-89 % 3'29"-3'35"	93-95 % 1'07"-1'08"	95-97 % 1' 06"-1' 07"	98-99 % 8".05-8".10
Fuente de energía que predomina	Lípidos	HC aeróbico	HC mixto	HC anaeróbico	HC anaeróbico	CrP
Tipo de entrenamiento	Continuo 5.000 m.	Fraccionado 3 x 1.000 m.	Fraccionado 3 x 1.000 m.	Fraccionado 4 x 400 m.	Fraccionado 4 x 400 m.	Fraccionado 6 x 60 m.
% FC Máx.	82-85%	88-90%	90-93 %	94-97 %	95-98 %	< 80%
Recuperación FC entre c/ repetición	-	≤ 100 Lpm	≤ 100 Lpm	≤ 120 Lpm	≤ 100 Lpm	≤ 100 Lpm
Producción de lactato	2-3 Mmol/L	3-4	7-9	9-12	> 12	≤ 7

Otras distancias utilizadas fueron:

- 5 x 10 a 60 m. Se entrena en el Área Anaeróbica Aláctica de forma interválica. Aunque se haga bien el test siempre hay un componente anaeróbico láctico de cierta importancia. Son cinco series, en cada una se corre de forma progresiva de menor a mayor, o sea: 10, 20, 30, 40, 50 y 60 m. A la vuelta de cada distancia debe realizarse caminando o en trote leve. Dependiendo de la recuperación entre cada serie, se puede realizar un trabajo de calidad. Si no se entrena bien, se convierte en láctico. Para iniciar cada serie es necesario tener una FC ≤ 100.
- Resistencia Regenerativa: Se utiliza para la recuperación del deportista después de cargas elevadas y también para disminuir el peso corporal. Es un entrenamiento continuo que puede tener diferente duración, generalmente entre 4 y 30 minutos, y entre el 60 y 70% de la FC Máx.

A continuación presentamos la fórmula del Test de Tokmakidis para cada una de las distancias del atletismo desde los 200 m. hasta la maratón.

Distancia **Fórmula de Regresión para la Distancia: METs**

200 m.	- 3,63 + (0,77038 x Km./h)
400 m.	- 1,3010 + (0,78600 x Km./h)
600 m.	0,3862 + (0,7932 x Km./h)
800 m.	0,8964 + (0,8146 x Km./h)
1.000 m.	1,2730 + (0,8325 x Km./h)
1.500 m.	2,4388 + (0,8343 x Km./h)
1.600,9 m. (Milla)	2,5043 + (0,8400 x Km./h)
2.000 m.	2,7297 + (0,8527 x Km./h)
3.000 m.	2,9226 + (0,8900 x Km./h)
5.000 m.	3,1747 + (0,9139 x Km./h)
10.000 m.	4,7226 + (0,8698 x Km./h)
15.000 m.	4,8619 + (0,8872 x Km./h)
20.000 m.	4,9574 + (0,8995 x Km./h)
42.195 m. (Maratón)	6,9021 + (0,8246 x Km./h)

En la bibliografía principal referenciada, aparecen ejemplos de cómo desarrollar las formulas para conocer el VO₂ Máx./kg, para cada una de las distancias.

En las Tablas 4, 5, 6, 7 y 8 se encuentra la información de los diferentes estudios realizados, en dos momentos diferentes, al boxeador.

Tabla 4. Test de 5.000 m. lisos.

Fecha	Tiempo	% FC Máx.	VO ₂ Máx./Kg ml/kg./min	VO ₂ Máx. ml/min	Lactato post test Mmol/L	Minuto de mayor producción de lactato
26 Marzo	20'23"	95,9	58,2	3445	11,1	3'
10 Julio	18'35"	100,5	62,6	3700	16,2	5'

METs Test de Tokmakidis 5.000m. = 3,1747 + (0,9139 x Km./h)
 V= D / T
 1 METs= 3,5 ml O₂/ kg./ min.

Tabla 5. Test de 1.000 m. lisos.

Fecha	Tiempo	% FC Máx.	VO ₂ Máx./Kg ml/kg./min	VO ₂ Máx. ml/ min	Lactato post test Mmol/L	Minuto de mayor producción de lactato
28 Marzo	3'16"	96,3	58,0	3444	11,9	3'
11 Julio	3'00"	99,1	62,7	3706	19,5	7'

METs Tokmakidis 1.000m. = 1,2730 + (0,8325 x Km./h)

Tabla 6. Test de 400 m. lisos.

Fecha	Tiempo	% FC Máx.	VO ₂ Máx./ Kg ml/kg./min	VO ₂ Máx. ml/ min	Lactato post test Mmol/L	Minuto de mayor producción de lactato	Potencia Anaeróbica watts
30 marzo	1'04"	96	57,9	3428	14,2	3'	36,1
13 Julio	58"	97,5	63,2	3735	17,9	7'	48,5

METs Tokmakidis 400m= -1,3010 + (0,78600 x Km./h)
 Potencia anaeróbica:= peso corporal Kg. x distancia ² / tiempo ³

Tabla 7. Test de 60 m. lisos.

Fecha	Tiempo	Potencia Anaeróbica watts	Lactato post test Mmol/L	Minuto de mayor producción de lactato
30 marzo	7".97	420,9	4,9	1'
13 Julio	7".51	502,3	6,0	3'

Potencia anaeróbica:= peso corporal Kg. x distancia ² / tiempo ³

Tabla 8. Ergoespirometría monitorizada con ECG. Protocolo progresivo máximo en la cinta.

Fecha	Peso corporal Kg.	% FC Máx.	VO ₂ Máx. ml/ min	VO ₂ Máx./ Kg. ml/kg./min	Velocidad alcanzada Km./h	Lactato post test Mmol/L	Minuto de mayor producción de lactato	% Umbral Anaeróbico con respecto al VO ₂ Máx./kg %/ ml/kg./min
24 Febrero	59,2	98,6	3505	59,2	19,0	12,1	3'	94,8% / 56,1
4 Julio	59,1	99,5	3646	61,7	20,5	17,2	7'	89,6% / 55,3

En las Tablas 4, 5, 6, 7 y 8 se puede apreciar que se ha mejorado de forma importante el perfil fisiológico del atleta, tanto general como específico, para los movimientos que exige el boxeo olímpico, con constantes entradas y salidas frente al adversario, logrando mantener un ritmo óptimo durante cada asalto.

Lo importante es que la mejora del perfil fisiológico ha colaborado con el incremento del rendimiento deportivo, pudiendo desarrollar de una forma más eficiente el gesto deportivo del boxeo y mantener un mejor ritmo durante el combate.

Se trabajó de forma muy coordinada por parte de los diferentes miembros del grupo multidisciplinar, dirigido por el director técnico, el seleccionador nacional y el asesor técnico de boxeo. Se aplicaron sistemas de entrenamiento específicos de boxeo, los cuales estaban respaldados por el desarrollo de las áreas funcionales de intensidad de forma general en la pista y en el gimnasio de musculación para el desarrollo de la fuerza, favoreciendo así el desarrollo de la potencia.

Posterior a los estudios de laboratorio y de campo del mes julio, se planificaron nuevamente los tiempos en cada área de intensidad funcional del entrenamiento.

A continuación se expone un corte del programa de 16 semanas que se le aplicó a este deportista, en el que se toma como referencia el tiempo base en cada distancia para entrenar las áreas de intensidad.

En las Tablas 9 y 10 se presentan, a modo de ejemplo, dos microciclos donde se puede apreciar la articulación del entrenamiento específico de boxeo con el entrenamiento para el desarrollo de las capacidades generales.

Tabla 9. Ejemplo de un microciclo de entrenamiento del equipo de boxeo, al inicio del período preparatorio especial. Primer microciclo.

Primer Microciclo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Mañana	- 5.000 m. - Ent. Boxeo	Escuela de Boxeo - 3 x 1.000 m. Umbral Anaeróbico	- 6 x 60 m. - Ent. Boxeo	Escuela de Boxeo	- 6 x 60 m. - Ent. Boxeo	- 4 x 400 m. Capacidad Anaeróbica Láctica
Tarde	- Ent. Boxeo	Fuerza	Recuperación	Fuerza	Esparring de Boxeo	-----

Tabla 10. Ejemplo de otro microciclo de entrenamiento del equipo de boxeo, al inicio del período preparatorio especial. Segundo microciclo.

Segundo Microciclo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Mañana	- 5.000 m. - Ent. Boxeo	Escuela de Boxeo - 3 x 1000 m. Potencia Aeróbica	- 6 x 60 m. - Ent. Boxeo	Escuela de Boxeo	- 5x 10 a 60 m. -Ent. Boxeo	- 4 x 400 m. Potencia Anaeróbica Láctica
Tarde	- Ent. Boxeo	Fuerza	Recuperación	Fuerza	Esparring de Boxeo	-----

Somos del criterio de que el médico especialista en medicina del deporte es un componente importante para la dirección técnica de la federación deportiva, pudiendo convertirse sin duda en el brazo derecho del seleccionador principal. Estos ejemplos que hemos presentado en el boxeo, se pueden aplicar en cualquier tipo de deporte del grupo de las disciplinas de resistencia.

Texto principal de consulta:

Pancorbo, A. *Medicina y Ciencias del Deporte y Actividad Física*. Madrid: Ergon, 2008. Capítulo 13: 309–382.

Referencias de interés de consulta:

American College of Sports Medicine. *Manual de Pesquisa das diretrizes do ACSM para os testes de esforço e seu prescrição*. 4ª ed. Guanabara Kogan, 2003.

Bangsbo, J.; Krstrup, P.; Mohr, M... [et al.] The yo - yo intermiten recovery test: physiological response, reliability, and validiti. *Med. Sci. Sport. Exerc.*, 35 (4): 697–705, 2003.

Billat, L.V. Use of blood lactate measurements for predicions of exercice performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Med.* 22 (3): 157–175, 1996.

Bompa, T. *Periodização: teoria e metodologia do treinamento*. São Paulo: Phorte, 2002.

Brooks, G.; Fahey, T.; Baldwin, K.; White, T. *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications*. MountainView (CA): Mayfield Publishing Company, 2000.

Echegaray, M.; Armstrong, L. E.; Maresh, C. M... [et al.] Blood glucose responses to carbohydrate feeding prior to exercise in the heat: effects of hypohydration and rehydration. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 11 (1): 72–83, 2001.

Ericsson, K. A.; Krampe, R. T.; Tesch-Römer, C. The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Physiological Review.* 100 (3): 363–406, 1993.

Forsyth, J. J.; Reilly, T. Circadian rhythms in blood lactate concentration during incremental ergometer rowing. *Eur. J. Appl. Physiol.* 92 (1-2): 69-74, 2004.

Fox, E. L. *Fisiología del deporte*. 5ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1989.

Fox, E. L.; Bowers, R. W. *The physiological basis for exercising and sports*. 5ª ed. Philadelphia: Saunders, 1993.

Hawkins, S. A.; Marcell, T. J.; Victoria, J. S.; Wiswell, R. A. A longitudinal assessment of change in VO2max and maximal heart rate in master athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 (10): 1744–1750, 2001.

Mader, A. [et al.] Zur beurteilung der sportartsspezifischen ausdauerleistungshigkeit im labor. *Sportarzt sportmed.* 27: 80–88, 1976

Mader A.; Liroen, H. Evaluation of Latic acid anaerobic energy contribution by determination of postexercise lactic acid concention of carcapillary blood in middle-distance runners and swimmers. *Axer. Physiol.* 4: 187–194, 1978.

Manno, R. *Fundamentos del entrenamiento deportivo*. Barcelona: Editorial Paidotribo, 1994.

Matveev, L. P. *Teoría general del entrenamiento deportivo*. Barcelona: Editorial Paidotribo, 2001.

Mathews, D. K.; Fox, E. L. *The physiological basis of physical education and athletics*. 2ª ed. Philadelphia: Saunders, 1976.

Pancorbo, A. y colab. Integración de Variables Biomédicas para el Control del Entrenamiento. *Archivo de Medicina del Deporte.* 7 (6): 185–195, 1991.

Pancorbo, A. *Medicina do Esporte*. Princípios e Pratica. Brasil: Ed. Artmed, 2005. Pp. 337–400.

Platonov, V. N. *El entrenamiento deportivo: teoría y metodología*. Barcelona: Editorial Paidotribo, 1998.

Powers, S. K.; Howley E. T. *Fisiología do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento físico e ao desempenho*. São Paulo: Ed. Manole, 2000.

Rowland, T. W. The circulatory responses to exercise: role of the peripheral pump. *Int. J. Sports Med.* 22 (8): 558–565, 2001.

Shephard, R. J. Consume máximo de oxígeno. En: *La Resistencia en el deporte*. Barcelona: Editorial Paidotribo, 2000.

Stewart, I. B.; McKenzie D. C. The human spleen during physiological stress. *Sport Med.* 32 (6): 361–369, 2002.

Weltman, A. *The blood lactate responses to exercise*. Human Kinetic Publishers, 1995.

Wilmore, J. H.; Costill, D. L. *Fisiología del esfuerzo del deporte*. 3ª ed. Barcelona: Editorial Paidotribo, 2000.

10. VALORACIÓN MÉDICO-DEPORTIVA DE LOS DEPORTISTAS ESPAÑOLES DE ALTO NIVEL. PROGRAMA RENDIMIENTO Y SALUD 2012

Armando Enrique Pancorbo Sandoval
Fernando Gutiérrez Ortega

La principal ciencia aplicada al deporte de alta competición, es la metodología del entrenamiento deportivo, la cual engloba: los principios teóricos, la planificación de la periodización y el control del entrenamiento. Todo ello conduce a la puesta en forma deportiva para la competición, como objetivo final de un ciclo deportivo. Esa disciplina es sin duda la base científica del deporte de alto nivel y abarca desde la iniciación deportiva hasta el alto rendimiento.

Como eslabón fundamental, para lograr que se cumplan los objetivos deportivos, es necesario contar con el apoyo de la medicina del deporte con el fin de garantizar el control de la salud del deportista, que es el requisito imprescindible para que éste pueda desarrollar en su máxima expresión sus capacidades morfológicas y funcionales. Un correcto apoyo médico-deportivo consigue evitar los efectos negativos del entrenamiento para alcanzar el máximo nivel competitivo, a pesar de la alta exigencia fisiológica que requiere el rendimiento deportivo de élite. Además el disponer de un buen consejo médico permite una mayor longevidad deportiva.

Este apoyo científico y técnico tiene su expresión en los Centros de Medicina del Deporte que, además de preocuparse por la salud de los deportistas, se ocupan de la valoración funcional del entrenamiento, colaborando en la planificación y el control personalizado de las cargas de entrenamiento de los deportistas.

Queremos exponer nuestra experiencia con la medicina deportiva en Cuba, en su mejor momento deportivo, durante el período 1985–1992 (primer lugar en los Juegos Panamericanos de la Habana 1991 y quinto lugar en los Juegos Olímpicos de Barcelona 1992). Estos resultados fueron consecuencia de un estrecho trabajo entre los diferentes agentes del deporte cubano dentro de su institución, el INDER: la Vicepresidencia de Alto Rendimiento, de sus federaciones nacionales, de la Dirección de Metodología del Entrenamiento y del Instituto de Medicina del Deporte (IMD), dirigido por el Dr. A. Pancorbo en el período 1985-1992. En el IMD de Cuba estaban integrados los diferentes servicios y laboratorios médicos, biológicos y psicológicos, así como los servicios médicos de las distintas federaciones deportivas. Su plantilla estaba integrada por médicos del deporte, fisioterapeutas y psicólogos, lo que permitía atender de forma sistemática a 2.000 deportistas, que estaban concentrados en el Centro Olímpico. De ellos 1.200 eran de la categoría senior y 800 de la júnior, a todos ellos se les monitorizaba a lo largo de la temporada de forma individualizada.

10.1 Programa Rendimiento y Salud 2012

Nuestro propósito actual es poner en marcha un programa similar para valorar a los deportistas de élite de España de cara a los Juegos Olímpicos de Londres 2012. El objetivo es lograr los mejores resultados deportivos, con una mejor salud de nuestros deportistas a lo largo de toda su carrera. Esta propuesta se adapta a las características propias del deporte español de alta competición y se irá enriqueciendo, a medida que avance el proyecto, con nuevas aportaciones.

En estos momentos dentro de la estructura de la Dirección General de Deportes del Consejo Superior de Deportes, estamos dando los primeros pasos en esta dirección: con un trabajo conjunto de la Subdirección General de Alta Competición, la Dirección de la División de Centros de Alto Rendimiento, la Subdirección General de Deporte y Salud y su Centro de Medicina del Deporte. El programa se ha puesto en marcha oficialmente en septiembre del 2010.

De este modo, la selección de los deportistas de alto nivel es realizada por la Subdirección General de Alta Competición (a propuesta y conjuntamente con las Federaciones Deportivas Españolas). El contenido y la frecuencia de los estudios médicos de valoración funcional y de salud dependen de los grupos a los que pertenecen las disciplinas deportivas, según los fundamentos de la metodología del entrenamiento deportivo. Además estos estudios se adaptan a nivel individual para permitir una valoración y seguimiento individualizado en función de las características médicas y deportivas de cada deportista.

10.2 Clasificación de los deportes en el programa

Tal como se ha descrito en el capítulo anterior, proponemos una de las clasificaciones más utilizadas, que consideramos muy objetiva y que facilita el trabajo en equipo entre la dirección técnica del deporte, los entrenadores y los médicos del deporte. Esta clasificación se divide en cinco grupos metodológicos:

· Deportes de fuerza rápida y velocidad

Halterofilia, atletismo (lanzamientos, velocidad y saltos). Algunos autores también incluyen el ciclismo de pista, sobre todo la velocidad pura y al área de eventos múltiple del atletismo.

· Deportes de coordinación y artes competitivas

Gimnasia artística, gimnasia rítmica, gimnasia en trampolín, natación saltos, natación sincronizada, patinaje artístico, tiro deportivo, tiro con arco, vela, equitación, golf, motociclismo, entre otros.

· Deportes de combate

Judo, kárate, boxeo, lucha libre y greco-romana, esgrima, taekwondo, entre otros.

· Deportes de equipo y juegos con pelota

Fútbol, voleibol, baloncesto, béisbol, balonmano, waterpolo, volei-playa, hockey sobre hierba, tenis, tenis de mesa, bádminton, fútbol sala, softbol, squash, rugby a 7, entre otros.

· Deportes de resistencia

Natación, atletismo (fondo y semi-fondo), remo, piragüismo, ciclismo en ruta y de pista, triatlón, patinaje de velocidad, esquí de fondo, entre otros.

En general, los deportes que forman cada grupo tienen en común aspectos bioenergéticos que responden a principios de entrenamiento semejantes ya que: programas de entrenamiento en determinadas

modalidades deportivas pueden tener elementos similares, predominio de las diferentes capacidades funcionales motoras, aspectos morfológicos, psicopedagógicos, complejidad del gesto deportivo, sistema competitivo y su evaluación, etc. De todas formas, dentro de un mismo grupo, cada modalidad deportiva de alto rendimiento posee determinadas características que las diferencia. Por otra parte, debemos tener presente siempre que los deportistas de élite, necesitan estudios cada vez más específicos a lo largo de la temporada.

10.2.1 Grupo de deportes de fuerza rápida y velocidad

- La planificación del entrenamiento generalmente tiene periodicidad de corta duración con el objetivo de obtener la forma deportiva. En una temporada puede oscilar entre 2 y 4 macrociclos, dependiendo de la modalidad, del nivel competitivo y de las competiciones fundamentales.
- Se caracterizan por ser modalidades de corta duración y que se realizan con el máximo esfuerzo físico.
- El comportamiento general de la intensidad en el macrociclo es alto desde el inicio.
- Por su expresión competitiva son fundamentalmente reactivos.
- Poseen dos tendencias: predominio de fuerza o de velocidad, necesitando ambas.
- Predomina la utilización de la energía anaeróbica aláctica.
- La especialización debe ocurrir entre los 14 y los 16 años.

10.2.2 Grupo de deportes de coordinación y artes competitivas

- La periodicidad del entrenamiento refleja estructuras similares en sus medios y duración, generalmente entre 6 y 8 meses.
- Necesitan varios años de trabajo para su especialización: se inicia precozmente en algunas disciplinas (a los 8 años) y termina esta iniciación generalmente a los 12 años, donde comienza la especialización.
- Predominan las reacciones psicomotoras y de coordinación, así como la elegancia y la creatividad.

10.2.3 Grupo de deportes de combate

- Generalmente poseen dos periodos competitivos.
- Son modalidades de esfuerzos variables y aciclicos, presentando la combinación de esfuerzo aeróbico y anaeróbico.
- Predomina la información visual y propioceptiva.

- Es importante el pensamiento táctico.
- Generalmente la especialización se inicia entre los 13 y los 14 años.

10.2.4 Grupo de deportes de equipo y juegos con pelota

- Dependiendo del nivel competitivo la periodicidad puede requerir de 1 a 3 periodos durante la temporada. Los deportes que tienen temporadas largas, como el fútbol, baloncesto, béisbol, tienen una periodicidad principal con un campeonato de duración entre 6 y 8 meses.
- Al igual que los deportes de combate, son modalidades de esfuerzos variables y acíclicos y utilizan el fortalecimiento aeróbico-anaeróbico para la obtención de energía.
- Predomina la información visual y también propioceptiva.
- Es de gran importancia la riqueza de pensamiento táctico.
- Generalmente la especialización se inicia entre los 12 y los 14 años, no debemos decidirnos en una posición definida hasta los 14-15 años.

10.2.5 Grupo de deportes de resistencia

- En general poseen dos macrociclos, aunque en la natación de alto nivel de competición la tendencia es de tres.
- Se caracterizan por esfuerzos de larga duración, predominando el metabolismo aeróbico. Es importante, en la mayoría de las disciplinas, contar con un Umbral Anaeróbico excelente.
- Predominan las cualidades volitivas (de voluntad).
- Necesitan un gran gasto energético para su realización.
- Los deportistas inician la especialización entre los 13 y los 14 años. La natación inicia el entrenamiento en edades precoces (de 7 a 8 años en adelante, pero su especialización en una técnica determinada de nado debe ser alcanzada, precisamente, entre los 13 y los 14 años de edad).
- En pruebas de potencia como son los 50 m. libres en la natación, los 200 m. del piragüismo y las pruebas de velocidad en el ciclismo, necesitan de un mayor entrenamiento de fuerza para desarrollar la potencia del gesto deportivo. Por tanto, pueden tener valores más bajos del VO_2 Máx./Kg. y del Umbral Anaeróbico que sus compañeros del deporte.

10.3 Periodización del entrenamiento

Relación con los estudios médico-deportivos

Independientemente de que nos basemos en la propuesta clásica de periodización del entrenamiento de *Matveiev* o de la modificación del entrenamiento en “Bloque” propuesta por *Weineck* y *Verjoshansky*, debemos tener en cuenta, para efectuar los estudios que nos permitan conocer la valoración funcional y de la salud del deportista, dos aspectos principales:

· El grupo metodológico deportivo

Al que pertenece la disciplina deportiva y que nos permite priorizar la cantidad y calidad de los estudios médicos según las características de cada disciplina.

· Etapa de la periodización del entrenamiento de la temporada

Es fundamental definir con la dirección técnica de cada federación el momento óptimo para realizar los reconocimientos médicos, las valoraciones funcionales, así como los tests de campo de carácter general y/o específico.

El primer estudio de la temporada debería situarse al inicio de la preparación física general del primer Macro ciclo. Constará de un reconocimiento médico completo para descartar algún problema de salud y para definir al deportista desde el punto de vista morfológico y funcional, antes de empezar a recibir grandes cargas del entrenamiento.

10.4 Tipos de Reconocimientos Médicos (RM) para los deportistas de alto nivel incluidos en este programa

Para simplificar la individualización de los estudios en los deportistas, hemos preferido partir de unos bloques básicos de trabajo que engloban las intervenciones puntuales.

10.4.1 Reconocimiento Médico completo tipo I (RM completo I)

Incluyendo

- Analítica completa, con Testosterona, Cortisol, Ferritina, así como marcadores de sobrecarga cardiovascular y análisis de orina.
- Antropometría completa.
- Valoración de medicina interna, endocrinología y nutrición. Densitometría ósea.
- Valoración del aparato locomotor con pruebas de imagen.
- Estudio cardiovascular y respiratorio de reposo: anamnesis, exploración clínica, electrocardiograma (ECG) de reposo, ecocardiograma. Estudio de espirometría de reposo.
- Estudio de esfuerzo máximo mediante ergoespirometría monitorizada, con ECG en tapiz rodante. Aplicamos un test progresivo máximo y toma de presión arterial en los quince minutos de recuperación. En algunas disciplinas de fondo del atletismo, como la maratón y la marcha, se hacen protocolos específicos. En ciclistas los tests se desarrollan en el cicloergómetro. Se incluyen determinaciones de lactatemia de reposo, inmediatamente al finalizar la prueba de esfuerzo y durante la recuperación en los minutos 1, 3, 5, 7, 10, 12 y 15. Para deportes específicos disponemos de otros ergómetros (remoergómetro, kayaergómetro, canoergómetro). Los deportistas extraordinariamente pesados, con dificultades en el tapiz, realizan la prueba en el cicloergómetro o en el tapiz aplicando un Bruce modificado, con criterios de maximalidad también en estos casos.
- Estudio de fuerza muscular y potencia anaeróbica mediante un laboratorio de valoración muscular. Para deportes de fuerza y/o acciones intensas.

Deportistas sujetos a RM completo I

Los practicantes de disciplinas de los siguientes grupos:

- Resistencia: áreas de semi-fondo y fondo del atletismo, natación, ciclismo, triatlón, piragüismo, remo.
- Combate: judo, taekwondo, lucha olímpica, boxeo, esgrima, karate.
- Deporte de equipo y juegos con pelota: tenis, fútbol, baloncesto, waterpolo, balonmano, hockey, voleibol, rugby a 7.
- Fuerza rápida y velocidad: áreas de velocidad y salto del atletismo.

Consideraciones

- Como mínimo se les debe hacer dos RM completo I durante la temporada. Los deportistas de disciplinas de resistencia deberán hacer tres RM completo I, según el programa de la temporada, incluida la ergoespirometría con lactato. La ecocardiografía completa se hará por temporada, una anual, salvo criterio médico en algún caso individual.
- El estudio del aparato locomotor se efectuará cuando sea necesario, a criterio médico.
- En disciplinas donde predomine la resistencia pura como la maratón y la marcha, los estudios del laboratorio de potencia anaeróbica se realizarán en dos ocasiones.
- En las áreas de velocidad y salto del atletismo, comprendidos en este grupo, se les podrá hacer estudios en el laboratorio de valoración muscular en tres ocasiones. También sería de aplicación este criterio para las disciplinas de deportes de equipo como baloncesto, voleibol y balonmano, y en disciplinas de combate.
- El programa comprende el diseño por parte de las direcciones técnicas, de sus entrenadores y de los servicios médicos de las Federaciones Deportivas Españolas, con la colaboración del Centro de Medicina del Deporte del CSD, de tests de campo de carácter específico de la disciplina, así como los tests de campo general para el diagnóstico de las capacidades funcionales generales.
- En deportes como el piragüismo, el remo y el ciclismo, que tienen ergómetros específicos, se alternarán estos tests específicos con otros en el pantano, en el velódromo o en

la carretera. Los datos obtenidos se correlacionarán con los aportados por la ergoespirometría y los lactatos del laboratorio.

- En las disciplinas acíclicas como son los deportes de combate y de equipo y juegos con pelota, es interesante hacer tests generales en la pista de atletismo como el test de *Tokmakides* y el test de una repetición máxima (1 RM), lo que nos permitirá diagnosticar y desarrollar capacidades funcionales y morfológicas desde el punto de vista general. En las pista de atletismo se utilizarían distancias de 3.000 m. lisos, 1.000, 400 y 60 m., en la tres primeras se aplicará el test de *Tokmakides* para obtener el VO_2 máx. relativo al peso.
- Es importante que los tests de campo, tanto generales como específicos, se hagan cerca de la fecha a los RM completo I, para poder analizar todas las áreas funcionales de intensidad del entrenamiento.
- Si fuera necesario se realizarían otros estudios a los deportistas, siempre y cuando existiera criterio médico.

10.4.2 Reconocimiento Médico completo tipo II (RM completo II)

Incluyendo

- Analítica completa, incluida estudios especiales de Testosterona, Cortisol y Ferritina. No se realiza de marcadores de sobrecarga cardiovascular. Se incluye análisis de orina.
- Antropometría completa.
- Valoración de medicina interna, endocrinología y nutrición. Densitometría ósea.
- Valoración del aparato locomotor. Con pruebas de imagen.
- Estudio cardiovascular y respiratorio de reposo: anamnesis, exploración clínica, electrocardiograma (ECG) de reposo, ecocardiograma. Estudio de espirometría de reposo.
- Estudio de esfuerzo máximo con ergoespirometría máxima monitorizada mediante ECG en el tapiz rodante y aplicando un test progresivo con protocolo y ergómetro según la disciplina. No se realizan determinaciones de lactatemia.
- Estudio de fuerza muscular y potencia anaeróbica mediante un laboratorio de valoración muscular. No se realiza a todas las disciplinas que comprenden este grupo. Se les realiza a: halterofilia, área de lanzamiento de atletismo, gimnasia artística, trampolín, saltos de natación.

Deportistas sujetos a RM completo II

Los practicantes de disciplinas de los siguientes grupos:

- Deportistas de alto nivel que no aparecen en el grupo de disciplinas donde aplicamos el Reconocimiento Médico completo I (RM completo I).
- Deportistas internos en la Residencia "Joaquín Blume" de Madrid y que no están incluidos en el programa.

Consideraciones

- En algunos deportes como la halterofilia, las disciplinas de lanzamientos del atletismo, el tiro olímpico, el tiro con arco, la vela, la gimnasia rítmica, la natación sincronizada, proponemos un test máximo de ergoespirometría monitorizado con ECG, ya que es necesario conocer el estado cardiovascular de estos deportistas y su estado funcional. Se debe realizar al 100% de los deportistas. A deportistas de gran peso corporal (como pueden ser deportistas de las categorías pesadas de halterofilia, así como en los lanzamientos de atletismo), y deportistas con riesgo cardiovascular detectado, se les indica una prueba de esfuerzo aplicando el test de Bruce modificado u otro similar. Los lanzadores de jabalina, por su físico y preparación, pueden hacer una prueba de esfuerzo mediante un protocolo progresivo.
- A este grupo de deportistas, se les realiza un solo RM completo II a lo largo de la temporada.
- Disciplinas como halterofilia y el área de lanzamiento en atletismo, deben realizar pruebas de potencia anaeróbica, en tres momentos diferentes.
- Con respecto a los tests de campo, se puede considerar la misma metodología para los deportistas que les corresponde el RM completo I, según la característica de cada disciplina.
- Los deportistas de nuevo ingreso en la Residencia "Joaquín Blume" de Madrid deben acudir al Centro de Alto Rendimiento con un estudio médico donde se incluye ergometría máxima y ECG, entre otros estudios.

10.4.3 Reconocimiento Médico parcial I (RM parcial I)

Incluyendo

- Analítica completa: incluida Testosterona, Cortisol, Ferritina y marcadores de sobrecarga cardiovascular. Se incluye análisis de orina.
- Antropometría: composición corporal incluido índice AKS, así como somatotipo.
- Estudio cardiovascular y respiratorio de reposo: ECG y gasto cardíaco indirecto mediante la ecocardiografía, sobre todo en disciplinas que compiten por categoría de peso corporal como taekwondo, judo, lucha olímpica y boxeo.

Deportistas sujetos a RM parcial I

Todos los deportistas a los que se aplica el RM completo I.

Consideraciones

- Su frecuencia oscila entre dos y cuatro veces en la temporada según las características de la disciplina deportiva.
- No todos los deportistas sujetos a este RM parcial I necesariamente tendrían que hacer todos los estudios incluidos, dependerá del criterio de los servicios médicos de las Federaciones Deportivas Españolas y de la dirección técnica de las mismas.

10.4.4 Reconocimiento médico parcial II (RM parcial II)

Incluyendo

- Analítica, incluido Testosterona, Cortisol y Ferritina. Se incluye análisis de orina. No se estudian marcadores de sobrecarga cardiovascular.
- Antropometría: composición corporal incluido índice AKS, así como somatotipo.
- Estudio cardiovascular y respiratorio de reposo: ECG. En caso de deportes con categorías de peso como la halterofilia, y algunos de figura corporal como natación sincronizada, gimnasia rítmica, entre otros, se podrá incluir el gasto cardíaco indirecto mediante la ecocardiografía.

Deportistas sujetos a RM parcial II

- Aquellos deportistas a los que se aplica el RM completo II.
- A deportistas no priorizados, que no están en el grupo objetivo para los Juegos Olímpicos del 2012, no se les realiza el RM parcial II.

Consideraciones

- La frecuencia es de una a tres veces en la temporada.
- No todos los deportistas sujetos a este RM parcial II necesariamente tendrían que hacer todos los estudios incluidos, dependerá del criterio de los servicios médicos de las Federaciones Deportivas Españolas y de la dirección técnica de las mismas.

Tabla 1. Deportistas de alto nivel de las disciplinas deportivas comprendidas dentro del RM completo.

Deportistas de las disciplinas	RM completo I Cantidad:	Etapas de la temporada en que realiza	RM parcial I Cantidad:	Etapas de la temporada en que realiza
Atletismo (fondo y semifondo), Ciclismo, Natación*, Patinaje de velocidad, Piragüismo, Remo, Triatlón.	3	- Inicio de temporada - A mediados o casi al final de la preparación especial del primer macrociclo. - A mediados de la preparación especial del segundo macrociclo.	4	En etapas inmediatamente después de microciclos de choque, o precisamente al finalizar el segundo microciclo de choque cuando son tres microciclos de choque.
Boxeo, Esgrima**, Judo**, Karate, Lucha Olímpica**, Taekwondo.	2	- Inicio de temporada - A mediados de la preparación especial del segundo macrociclo.	4	En etapas inmediatamente después de microciclos de choque, o sobre todo entre siete y cuatro días antes de una competición . Esto último debido a las pérdidas de peso tan brusco que hacen antes de la competición.
Atletismo (áreas de Velocidad, Salto y Eventos Múltiples)***, Baloncesto**, Balonmano**, Fútbol, Hockey, Rugby a 7, Tenis, Voleibol**, Waterpolo.	2	- Inicio de temporada. - A mediados de la preparación especial del segundo macrociclo.	2 a 4	En etapas inmediatamente después de microciclos de choque. O posterior a competiciones intensas a lo largo de la temporada, sobre todo para disciplinas de equipo y juegos con pelota.

Generalmente todas estas disciplinas tienen dos macrociclos a lo largo de la temporada.

* En caso de la natación, que generalmente tienen tres macrociclos, se pueden realizar los RM completo I, a inicios de la temporada y a mediados de la preparación especial del segundo y del tercer macrociclo.

** En las áreas de velocidad y saltos de atletismo, de deportes de equipo como baloncesto, balonmano y voleibol, y en disciplinas de combate como lucha olímpica, judo y esgrima, podemos hacer en tres ocasiones estudios en el laboratorio de valoración muscular.

Tabla 2. Deportistas de alto nivel de las disciplinas deportivas comprendidas dentro del RM completo II y otros deportistas del CAR de Madrid.

Deportistas de las disciplinas	RM completo II Cantidad:	Etapas de la temporada en que realiza	RM parcial II Cantidad:	Etapas de la temporada en que realiza
Deportistas de alto nivel con vista los JJOO de Londres y que no están comprendidos en el grupo de RM completo I.	1	A inicio de temporada, posterior a los del grupo del RM completo I.	1 a 3	Según las disciplinas se efectuarían la cantidad de los RM parciales II
Deportistas del CAR de Madrid que no están en el grupo de los JJOO de Londres	1	Relativamente a inicios de la temporada, pero después del subgrupo anterior de este grupo, e intercalando con el subgrupo del deporte paralímpico.	0	-
Deportistas paralímpicos seleccionados para Londres y que se estudian en el CMD del CSD.	1	Intercalando con el subgrupo de los deportistas del CAR de Madrid	0	-

En disciplinas de combate como lucha olímpica, judo y esgrima, podemos hacer en tres ocasiones estudios en el laboratorio de valoración muscular.

10.5 Consideraciones generales del Programa Rendimiento y Salud 2012

· El programa se inició en septiembre de 2010, de cara a la temporada 2010–11. Para lograr el éxito es imprescindible una coordinación muy estrecha de la Dirección General de Deportes del CSD con las estructuras de las Federaciones Deportivas Españolas. Las estructuras involucradas de la Dirección General de Deportes del CSD son: la Subdirección General de Alta Competición, la División de los Centros de Alto Rendimiento, la Subdirección General de Deporte y Salud y su Centro de Medicina del Deporte.

· La definición de los deportistas por disciplinas priorizados para ser sujetos de este programa la realizan la Subdirección General de Alta Competición y las Federaciones Deportivas Españolas.

· Los deportistas de alto nivel priorizados para el Programa Rendimiento y Salud 2012, que por diferentes motivos no se estudiarán en el Centro de Medicina del Deporte del CSD, se deben estudiar en otro CMD con la periodicidad necesaria. Por ello, en el marco del Grupo de Centros públicos de Medicina del Deporte, “Grupo Avilés”, se centraliza información de los CMD de las diferentes Comunidades Autónomas, lo que permite el intercambio de información. Las Subdirecciones Generales de Alta Competición y de Deporte y Salud proponen y definen, junto con las Federaciones Deportivas Españolas, aquella institución médica que hará estos seguimientos.

· La Subdirección General de Deporte y Salud, con sus especialistas del Centro de Medicina del Deporte del CSD, coordina los protocolos de los Reconocimientos Médicos completos y parciales, mencionados en el punto anterior, que se deben realizar.

· A los deportistas se les entrega la información de los Reconocimientos Médicos, completo y/o parcial, en un plazo máximo de 10 días.

· La transmisión de esta información se hace en una reunión de trabajo entre los principales especialistas del Centro de Medicina del Deporte del CSD, el entrenador principal y el médico de la Federación Deportiva Española. A la reunión se invita al director técnico de la Federación y al técnico de la Subdirección General de Alta Competición que atiende ese deporte. De este modo garantizamos una perfecta comprensión y asimilación de los datos suministrados.

- Los tests de campo permiten una mejor valoración de cara al rendimiento deportivo para construir de modo individualizado una propuesta de remodelación del entrenamiento y de la recuperación.
- A partir de la reunión del “Grupo Avilés” de Centros públicos de Medicina del Deporte (Sevilla, mayo de 2010), este programa se ha implementado notablemente en los diferentes Centros de Medicina del Deporte de las Comunidades Autónomas, de las Entidades Locales, así como en los departamentos médicos de los Centros de Alto Rendimiento y de Tecnificación Deportiva de España. No existiendo duda de que en España existen instituciones y profesionales de referencia que pueden participar activamente en estos estudios, se facilita el trabajo conjunto para el cumplimiento de los objetivos propuestos.
- El trabajo se inicia en la temporada 2010–11, pero se perfecciona en cantidad en la temporada 2011–12, estando enfocado hacia los Juegos Olímpicos de Londres 2012.
- A partir de 2010 a los deportistas de nuevo ingreso al CAR de Madrid se les solicita, como requisito, el haber realizado un reconocimiento médico en su lugar de origen.

10.6 Papel de los reconocimientos médicos y de los tests de campo en los diferentes períodos del entrenamiento

En primer lugar hay que tener en cuenta las características de cada modalidad y especialidad deportiva, así como el nivel de los deportistas, para determinar la periodicidad y especificidad de los estudios. Además es necesario considerar que al inicio de cada ciclo olímpico se trazan las estrategias de cada deporte y de los deportistas para un período de 4 años. Es a la hora de la planificación de cada temporada cuándo se debe concretar el mejor momento para realizar los diferentes estudios médicos deportivos y los tests de campo.

Como se ha descrito en el capítulo anterior, los tests de campo se correlacionan con los tests de esfuerzo de laboratorio y con los tests de prevención de fatiga crónica a través de biomarcadores como la Testosterona, Cortisol, marcadores de daño cardíaco (NT-ProBNP, CnTnI, CPK), Urea, entre otros.

A través de su relación con los reconocimientos médicos de valoración funcional y de la salud, aportan una información relevante para el control del entrenamiento y el incremento del rendimiento deportivo, así como del cuidado de la salud de los deportistas.

Recordamos los dos tipos de tests de campo:

· Test de campo general

Para la valoración y desarrollo de las áreas funcionales del entrenamiento y de la fuerza (1 repetición máxima de fuerza) En deportes del grupo de combate y del grupo de equipo y juegos con pelota, es interesante realizar tests en la pista de atletismo en distancias de 5.000 m. o 3.000 m. lisos, 1.000, 400 y 60 m.

Esto nos permite obtener información de variables como: tiempo registrado, $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{VO}_2\text{máx}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), FC, % FC máx. y potencia anaeróbica.

· Test de Campo Específico de la disciplina deportiva

Válidos para correlacionar el gesto deportivo con tests específicos, valorar la intensidad del test, la calidad técnico-táctica, el

cumplimiento de la estrategia, la combatividad y respuestas biológicas tales como frecuencia cardíaca, lactato, etc.

Es muy importante que a partir de los diferentes reconocimientos médicos y tests de campo que realicemos con nuestros deportistas, podamos establecer valores de referencia por disciplina deportiva, etapa del entrenamiento, nivel y categoría deportiva, y por sexo.

A continuación, las Tablas 3 y 4 muestran un ejemplo de información que puede servir de referencia para deportistas de alto nivel, ya que recogen datos de carácter internacional por etapas del entrenamiento. Esta información se compara con la información registrada de los deportistas nacionales por etapas de entrenamiento, de ahí que los Reconocimientos Médicos tienen que responder a la estrategia del control del entrenamiento y su monitorización a lo largo de la temporada. En el capítulo 13, (págs. 336–341) del libro “Medicina y Ciencias del Deporte y Actividad Física” ⁽¹⁾, se pueden observar tablas adicionales de estos parámetros para todas las disciplinas del programa olímpico y otras, desglosadas por etapas de entrenamiento.

Tabla 3. Valoración y control del entrenamiento a lo largo de la temporada mediante la composición corporal.

DISCIPLINAS DEPORTIVAS	Mesociclo Preparatorio				Mesociclo Competición	
	Etapa General o Básica		Etapa Especial o Específica			
	% G	AKS	% G	AKS	% G	AKS
Piragüismo Hombre (H)	≤ 11	≥ 1,26	≤ 9	≥ 1,30	≤ 8	≥ 1,30
Piragüismo Mujer (M)	≤ 15	≥ 1,08	≤ 13	≥ 1,12	≤ 11	≥ 1,12
Atletismo semi-fondo o fondo H	≤ 8	≥ 1,08	≤ 7	≥ 1,12	≤ 6	≥ 1,12
Atletismo semi-fondo o fondo M	≤ 12	≥ 0,98	≤ 10	≥ 1,00	≤ 9	≥ 1,00
Atletismo lanzamiento: martillo, disco, peso H	≤ 17	≥ 1,38	≤ 12	≥ 1,42	≤ 10	≥ 1,42
Judo categorías ligera y media H (-60 hasta -81 kg)	≤ 10	≥ 1,13	≤ 8	≥ 1,16	≤ 7	≥ 1,16
Judo categorías ligera y media M (-48 hasta -63 kg.)	≤ 14	≥ 1,07	≤ 11	≥ 1,10	≤ 10	≥ 1,10
Judo categorías pesadas H (-90 hasta +100 kg)	≤ 17	≥ 1,27	≤ 12	≥ 1,33	≤ 10	≥ 1,34
Judo categorías ligera y media M (-70 hasta +78 kg.)	≤ 19	≥ 1,13	≤ 14	≥ 1,16	≤ 10	≥ 1,16
Hockey H	≤ 12	≥ 1,14	≤ 10	≥ 1,15	≤ 9	≥ 1,16
Gimnasia Artística M	≤ 12	≥ 1,03	≤ 10	≥ 1,05	≤ 10	≥ 1,05

% G = % Grasa corporal según el protocolo de Yuhasz de 4 pliegues cutáneos.

AKS = Índice de sustancia activa (Aktiven Körpersubstanz Index) ó Peso magro kg. $(\text{altura}^3 \cdot 10)^{-1}$, con altura en metros.

Tabla 4. Valoración y control del entrenamiento a lo largo de la temporada mediante la ergoespirometría y su relación con los tests de campo.

VALORES DE REFERENCIAS INTERNACIONALES POR ETAPAS DEL ENTRENAMIENTO EN DIFERENTES DISCIPLINAS	Consumo máximo de oxígeno relativo VO_2 máx ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)			Umbral Anaeróbico (UA) % aproximado del VO_2 máx ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
	Mesociclo Preparatorio		Mesociclo Competición	
	Básica	Especial		
Piragüismo H (Hombre)	≥ 55	≥ 58	≥ 62	85 – 90 %
Piragüismo M (Mujer)	≥ 50	≥ 54	≥ 57	85 – 90 %
Atletismo semi-fondo o fondo H	≥ 70	≥ 75	≥ 80	90 – 93 %
Atletismo semi-fondo o fondo M	≥ 60	≥ 65	≥ 70	90 – 93 %
Atletismo lanzamiento: martillo, disco, peso H	≥ 46	≥ 53	≥ 53	80 – 85%
Judo categorías ligera y media H (-60 hasta -81 kg)	≥ 54	≥ 57	≥ 60	80 – 85%
Judo categorías ligera y media M (-48 hasta -63 kg.)	≥ 50	≥ 54	≥ 56	80 – 85%
Judo categorías pesadas H (-90 hasta +100 kg)	≥ 50	≥ 53	≥ 55	80 – 85%
Judo categorías pesada M (-70 hasta +78 kg.)	≥ 45	≥ 48	≥ 50	80 – 85%
Hockey H	≥ 52	≥ 57	≥ 57	80 – 85%
Gimnasia Artística M	≥ 46	≥ 49	≥ 49	80 – 85%

10.7 Análisis de la periodización deportiva

Con carácter general el análisis comprendería las siguientes fases y tareas:

- Diseño de la nueva temporada

Identificamos las competiciones más importantes y a partir de allí se definen la cantidad de macrociclos necesarios y los objetivos de cada uno. Hay que tener en cuenta la conformación de los mesociclos o bloques, la definición de las cargas de entrenamiento en cada microciclo, el resumen gráfico del programa de entrenamiento y su control. Así se configura el programa médico anual individual, planificado a partir del programa de entrenamiento y competición de la temporada, definiendo muy bien la ubicación de los reconocimientos médicos y de los tests de campo.

- Análisis de los microciclos, mesociclos y macrociclos

Con la modificación individual del entrenamiento de los deportistas y del sistema de recuperación, mediante el seguimiento diario del entrenamiento y teniendo en cuenta la interrelación de los estudios del Centro de Medicina del Deporte y de los tests de campo.

- Análisis al culminar la temporada

Definiendo el cumplimiento o incumplimiento de los pronósticos deportivos y objetivos de la misma, valorando los logros y las dificultades. Con este análisis se pueden emitir las recomendaciones para la nueva temporada deportiva.

10.8 Ejemplo de trabajo con el Programa Rendimiento y Salud 2012

Nos parece que el mejor modo de ilustrar la metodología de trabajo puede ser el presentar, a modo de ejemplo, un caso práctico de seguimiento de una nadadora durante uno de sus Macroциclos.

Datos de la deportista:

 Mujer
 19 años
 172 cm.
 66,5 Kg.
 Natación, 200 m. mariposa.
 Propuesta de estudios a lo largo de una temporada con dos Macroциclos.
 Análisis de uno de los Macroциclos.

10.8.1 Análisis de la Periodización Deportiva .

Respecto al análisis de la periodización de esta nadadora, se observan dos macroциclos. Un primer macroциclo con 28 microциclos y un segundo Macroциclo con 20 microциclos.

A la luz de este análisis se propone la siguiente distribución de los reconocimientos médicos (RM) completos:

- 1^{er} RM completo: Al inicio de la preparación física general del primer macroциclo.
- 2^o RM completo: A mediados o casi al final de la etapa de la preparación física especial del primer macroциclo.
- 3^{er} RM completo: A mediados de la etapa de la preparación física especial del segundo Macroциclo.

En las Tablas 5, 6 y 7 aparece el seguimiento del primer macroциclo de la temporada que consta de 28 microциclos (semanas), las 14 primeras de Preparación General (Básico), 11 de Preparación Especial-Específica y las 3 semanas finales Competitivas.

Se realizan controles endocrino-metabólicos en 6 ocasiones, generalmente al día siguiente de actividades intensas. Se relacionan las etapas de entrenamiento con los estudios de laboratorio y de campo, y se culmina con la competición fundamental del Macroциclo.

Señalar los mejores resultados obtenidos por la deportista: 2'08".3 en 200 m. mariposa; 1'02" en los 100 m. mariposa, su segunda prueba. Ambos registrados en el segundo Macroциclo de la temporada anterior 2001-02.

En la Tabla 8 se reflejan los valores en nadadoras internacionales de alta competición de hasta 200 m.

Tabla 5. Seguimiento de un Macroциclo en una nadadora de 200 m. mariposa.

Macroциclo I de 28 semanas				
Microциclos de impacto: 10-11-12; 16-17-18; 22-23				
Etapas del entrenamiento del I Macroциclo	Reconocimiento Médico completo. Microциclos	Tests de campo específicos y general. Microциclos	Reconocimiento Médico parcial. Microциclos	Entrega de información por el CMD
Preparatorio General 14 microциclos (1-14 semanas)	3^{er} microциclo de desarrollo Incluyendo: Ergoespirometría en la cinta con lactato. Control endocrino-metabólico especial (CEM)	4 ^o y 13 ^o : Tests general: Gimnasio 1RM	Al final del 11^o microциclo Incluyendo un CEM (entre los microциclos de impacto 10, 11 y 12)	4 ^o , 6 ^o microциclo
Control de competición en el 14 ^o microциclo		6 ^o y 14 ^o : Tests específico progresivo en la piscina		11 ^o microциclo
		7 ^o , 9 ^o , 10 ^o , 12 ^o , 14 ^o tests específicos en diferentes distancias		12 ^o y 14 ^o médico de la Federación y entrenadores

Tabla 6. Seguimiento de un Macroциclo en una nadadora de 200 m. mariposa.

Macroциclo I de 28 semanas				
Microциclos de impacto: 10-11-12; 16-17-18; 22-23				
Etapas del entrenamiento del I Macroциclo	Reconocimiento Médico completo. Microциclos	Tests de campo específicos y general. Microциclos	Reconocimiento Médico parcial. Microциclos	Entrega de información por el CMD
Preparatorio Especial 11 microциclos (15 - 25 semanas)	20^o microциclo de recuperación / desarrollo Incluyendo: Ergoespirometría en la cinta con lactato. Control endocrino metabólico especial (CEM)	19 ^o Tests Gimnasio 1 RM	Al final del 17^o microциclo Incluyendo un CEM (entre los microциclos de impacto 16,17 y 18). Otro CEM en el 23 ^o , al final del microциclo de choque	21 ^o microциclo
Control de competición en el 25 ^o microциclo		15, 16, 17, 18, 20, 22, 23, 25 ^o microциclos tests específicos		15, 16, 17, 20, 22, 23, 25 ^o microциclos, el médico de la Federación y los entrenadores procesan los Tests específicos
		20 ^o : Tests específico progresivo en la piscina		

Tabla 7. Seguimiento de un macrociclo en un nadadora de 200 m. mariposa.

Macrociclo I de 28 semanas				
Microciclos de impacto:10-11-12; 16-17-18; 22-23				
Etapas del entrenamiento del I Macrociclo	Reconocimiento Médico completo. Microciclos	Tests de campo específicos y general. Microciclos	Reconocimiento Médico parcial. Microciclos	Entrega de información por el CMD
Competición 3 microciclos (26-28 semanas) Competencia principal en el 28 microciclo		26º microciclo test específico 28º microciclo competición principal del I Macrociclo	CEM en el 28º microciclo	26º y 28º microciclos

Tabla 8. Natación de alta competición, Mujeres hasta 200 m. Indicadores funcionales y antropométricos.

Indicadores para el control del entrenamiento. Referencias internacionales	Etapa Preparatoria del Entrenamiento		Etapa de competición
	Preparación Física General (PFG)	Preparación Física Especial (PFE)	
VO ₂ Máx./ Kg. MI de O ₂ /kg/min	≥ 56	≥ 60	≥ 62
% Umbral Anaeróbico	85-90	85-90	85-90
% Umbral Aeróbico	65-85	65-85	65-85
Prod. Lactato	≥ 10 mmol/L	≥ 11	≥ 12
% Grasa Corporal *	≤ 17	≤ 14,0	≤ 12
Índice AKS** kg./m ³	≥ 0,99	≥ 1,01	≥ 1,01

* % Grasa corporal según el protocolo de Yuhasz de 4 pliegues cutáneos.

** AKS = Índice de sustancia activa (Aktiven Körpersubstanz Index) ó Peso magro kg (altura³ * 10)⁻¹, con altura en metros.

10.8.2 Hallazgos de los estudios

En la *Tabla 9* se muestra la información de la nadadora obtenida en el Reconocimiento Médico completo durante el 3º microciclo del I Macrociclo.

Respecto a los hallazgos de los estudios de laboratorio y de campo destacan:

- Un buen estado de salud, así como buenos indicadores morfológicos y funcionales.
- Un buen consumo máximo de oxígeno relativo.
- Parece necesario mejorar su potencial anaeróbico, ya que en la ergoespirometría se observa una desviación muy a la derecha de su umbral anaeróbico, y poca producción de lactato en los tests de campo y en la propia prueba de esfuerzo.

Tabla 9. Variables fisiológicas y antropométricas de la nadadora estudiada.

Indicadores para el control del entrenamiento. Referencias internacionales	Etapa Preparatoria del Entrenamiento I Macrociclo / 3º microciclo	
	Preparación Física General / 3º microciclo	Referencias Internacionales
VO ₂ Máx (ml. kg ⁻¹ .min ⁻¹)	61,5 / 99,5% FCM	≥ 56
% Umbral Anaeróbico	93,2 desvío a la derecha	85-90
% Umbral Aeróbico	81%	65-85
Producción de lactato	9,4 mmol.L ⁻¹ a los 3 min.	≥ 10
% Grasa Corporal	14	≤ 17
Índice AKS (kg./m ³)	1,12	≥ 0,99
Otros datos		
Talla: 172 cm.		
Envergadura: 178 cm.		
Peso: 66,5 Kg.		
4,0 % G		
Somatotipo: mesomórfico dominante: endo-mesomórfico.		
Frecuencia Cardíaca: 49		
Presión Arterial: 110/70 mm Hg.		
Control endocrino-metabólico (CEM) adecuado.		
Relativa baja producción de lactato en la ergoespirometría y en el test de campo.		

10.8.3. Recomendaciones realizadas

Apoyándonos en los datos anteriores, se realizan las recomendaciones siguientes:

- La nadadora debe trabajar más desde el punto de vista específico en las áreas de intensidad de potencia anaeróbica aláctica y láctica, así como en la capacidad anaeróbica láctica, respetando la relación carga / recuperación a partir de la

Frecuencia Cardíaca (FC), en los entrenamientos fraccionados de estas áreas, tanto en las repeticiones como en las series.

- Para mejorar el potencial anaeróbico se recomienda tener en cuenta la importancia de la relación carga física del entrenamiento y recuperación entre las repeticiones y series.
- Es necesario insistir en el incremento del trabajo de la musculación en el gimnasio, tanto con pesos libres como con medios más específicos de la natación.
- Es fundamental que exista una relación armónica entre las diferentes sesiones de entrenamiento en los microciclos.

Con una propuesta concreta:

- Potencia anaeróbica láctica: para lograr el desarrollo de este área se deben entrenar distancias entre los 45" y 2' de duración con una intensidad entre el 97 y el 99 % del mejor tiempo. Por ejemplo, si entrenamos en la distancia de 75 m. mariposa, con una tarea planificada de: 3 series x (3 repeticiones x 75 m./ 1'30"D) / 10'D (D= descanso) Es imprescindible tener en cuenta que más importante que el tiempo de recuperación, es alcanzar una buena recuperación de la FC, por lo que es necesario que antes de iniciar cada repetición o serie nos aseguremos de tener una $FC \leq 100$. De no ser así, estaríamos entrenando el área de intensidad de capacidad anaeróbica láctica, en lugar de la potencia láctica.
- Potencia anaeróbica aláctica: para lograr el desarrollo de esta área se deben entrenar distancias con tiempos de duración entre los 8" y los 12", con una intensidad entre el 99 y 100 % del mejor tiempo. Por ejemplo, si entrenamos en la distancia de 15 m. mariposa, con una tarea prevista de: 4 x (3 x 15 m/ 1' D) / 5' D Se debe tener en cuenta, igual que en el ejemplo anterior, que más importante que el tiempo de recuperación, es alcanzar una buena recuperación de la FC, por lo que se hace necesario, antes de iniciar cada repetición o serie, confirmar que la $FC \leq 100$. De no ser así, estaríamos entrenando el área de intensidad de capacidad o potencia anaeróbica láctica, ya que las reservas del sistema fosfágeno se agotarían, y la única opción sería obtener la energía del sistema anaeróbico glucolítico.

10.8.4 Seguimiento

Un aspecto fundamental de este trabajo es el seguimiento, es decir la comparación entre los resultados de los estudios a lo largo del tiempo y el análisis de su evolución.

En la *Tabla 10* se muestran los resultados obtenidos del reconocimiento médico completo en el microciclo 20º y su comparación con el correspondiente al 3º microciclo. Se constata una mejoría marcada en el $VO_2 \text{ máx}$ ($\text{ml. kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) a expensas del potencial anaeróbico, que se evidencia con una mayor lactatemia en la prueba de laboratorio y que coincide con una mayor lactatemia en los tests de campo en áreas de intensidad elevada. También se observa como disminuye un poco el umbral anaeróbico (UA), reflejando un aumento de su potencia aeróbica máxima como efecto añadido del entrenamiento del potencial anaeróbico. En ese momento se detecta un mejor perfil fisiológico para las pruebas de 100 y 200 m mariposa. Aparece también un incremento del peso corporal a expensas del peso magro y una disminución del porcentaje de grasa corporal, mejorando el índice AKS y el perfil del somatotipo, lo que ayuda a mejorar también su potencial de fuerza, que es muy importante para el estilo mariposa.

Respecto a los tests de campo, en la *Tabla 11* se muestran los resultados de un test de *Mader* para medidas de lactatemias, aplicado a la natación. En el protocolo progresivo de *Mader* existe el principio de que, entre las repeticiones en una misma área o entre áreas diferentes, la recuperación ideal para empezar la próxima repetición es que el nadador tenga una frecuencia cardíaca de 100 pulsaciones/minuto, lo cual garantiza una buena recuperación entre las cargas. Así se pueden analizar diferentes variables con relación a las áreas de intensidad. En este caso por ser una nadadora de 200 m., se aplica el protocolo de 8 x 200 m. mariposa.

En la *Tabla 12*, se presenta el comportamiento de la nadadora usando este mismo protocolo de *Mader*, con una respuesta muy buena en las cinco diferentes áreas en que entrenó, cumpliendo con los objetivos de tiempo a obtener en cada área, y un buen comportamiento de la lactatemia. La evaluación por el colectivo de entrenadores de los tiempos, de la eficiencia de las brazadas y de la técnica del nado fue buena. Todo ello conllevaba a predecir una mejora de rendimiento en competición respecto del primer macrociclo, teniendo en cuenta que se estaba a 8 microciclos de la competición.

Respecto a los controles endocrino-metabólicos (CEM), se recomienda aplicarlos en diferentes momentos del entrenamiento, sobre todo cuando el deportista está entrenando con alta intensidad y/o volumen. Aunque hay que recordar que el primer estudio de la temporada se hace necesario previo inicio de esa temporada y previo a cada Macro ciclo, así es posible caracterizar al deportista sin recibir cargas importantes de entrenamiento.

En la *Tabla 13* aparecen los resultados de los CEM a lo largo del Macro ciclo, hasta el micro ciclo 20° (último control al día siguiente del test de *Mader*). Esa semana 20ª coincide con un micro ciclo de recuperación, después de haber tenido tres micro ciclos de impacto (16°, 17° y 18°).

Al analizar la tabla, se ve como el comportamiento ha sido el adecuado en la deportista. Sin embargo los resultados del control al final del 17° micro ciclo, permitieron diagnosticar que la nadadora estaba en una fase de importante acumulación de fatiga residual, que podría afectar a la deportista. Esto se corrobora con el aumento del Cortisol, el índice Cortisol/Testosterona, Urea, y la disminución de la Testosterona.

Todo ello nos indicaba que la deportista podía estar entrando en un proceso catabólico. La intervención del colectivo de médicos y entrenadores permitió remodelar el micro ciclo 18°, disminuyendo la intensidad y el volumen del entrenamiento, mejorando la recuperación, descanso nocturno, la calidad del sueño, la alimentación y el aporte hidromineral. El resultado del CEM del micro ciclo 20°, y del protocolo de *Mader* en la misma semana, muestran la eficiencia de esta remodelación personalizada del entrenamiento.

La *Tabla 14* presenta los datos más relevantes de la ergoespiometría en el tapiz, monitorizada mediante control ECG, y aplicando un test progresivo máximo. Comparando los estudios de los micro ciclos 3° y 20° (*Tabla 10*), ambas pruebas de esfuerzo fueron máximas, y conllevaron un aumento de VO_2 Máx, una disminución del % UA, y una mejora del metabolismo anaeróbico (mayor lactatemia en pruebas máximas). En el micro ciclo 21° se llevó a cabo un test específico sobre los 100 m. mariposa, obteniendo un tiempo de 1'02", igualando su mejor tiempo histórico.

Tabla 10. Algunas variables funcionales y antropométricas obtenidas en el micro ciclo 20° y su comparación con el estudio anterior (3° micro ciclo).

Indicadores para el control del entrenamiento. Referencias internacionales	Etapa Preparatoria del Entrenamiento. RMC. I Macro ciclo / 28 micro ciclos	
	Preparación Física General / 3° Micro ciclo	Preparación Física Especial / 20° Micro ciclo
VO_2 Máx. (ml. $kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	61,5 / 99,5% FCM	63,8 / 100,5% FCM
% Umbral Anaeróbico	93,2 %	90,1% /desvío a la izquierda
Producción de lactato/minuto	9,4 mmol.L ⁻¹ a los 3 min.	14,1 mmol. L ⁻¹ a los 7 min.
% Grasa Corporal	14	11,5
Índice AKS kg/m^3	1,12	1,18
Otros datos Talla: 172 cm. Envergadura: 178 cm. (+6). Peso: 68,0 Kg. (+1,5 kg). 1,5 % G Somatotipo: mesomórfico balanceado (2-4,6-2,2) AS/T: 52,8% DBT/DBA: 18,1 FC: 48 TA: 110/70 mm Hg N/S: analítica, cardiovascular y locomotor. CEM adecuado. Buena producción de lactato en la ergoespiometría y tests de campo.		

Tabla 11. Protocolo de *Mader* 8 x 200 m. mariposa. 20° Micro ciclo.

Áreas de Intensidad	Repeticiones	Intensidad aproximada	Pausa entre las repeticiones	Pausa entre las repeticiones en la diferentes áreas	Obtención de Lactato
Umbral aeróbico	3	85-88 %	30"	3'	Directa
Umbral anaeróbico	2	88-90 %	30"	3'	Directa
Potencia aeróbica	1	90-93 %	-	15'	1'-3'
Potencia anaeróbica Láctica	1	95-98 %	-	20-30'	3'-5'
Máxima	1	100 %	-	-	3'-5'

Tabla 12. Protocolo de Mader de 8 x 200 m. mariposa. I Macro ciclo. 20º Micro ciclo.

Áreas de Intensidad	Tiempo	% Mejor Tiempo 2'08".3	Lactato Mmol. L ⁻¹	FC	Frecuencia de las Brazadas	Velocidad m .s ⁻¹
Umbral aeróbico	2'25"	87	2,5	162	46	1,51
Umbral anaeróbico	2'20"	91	3,8	172	48	1,58
Potencia aeróbica	2'16"	94	6,9	180	50	1,61
Potencia anaeróbica Láctica	2'13"	96	10,1	186	52	1,64
Máxima	2'09"	99	14,4	192	55	1,69

Tabla 13. Control Endocrino-Metabólico (CEM). 20º Micro ciclo.

T E S T S	I Macro ciclo Micro ciclos / Tipos	CPK 20 – 250 U.L ⁻¹	Urea 20 – 57 mg. L ⁻¹ L	Ferritina 30 – 300 ng.L ⁻¹	Testosterona 0.1 – 1 ng.ml ⁻¹	Cortisol 5 – 25 Ug. dl ⁻¹	Índice Cortisol / Testosterona
1	3/MD	92	30	120	0,62	14	22,6
2	11/MI	274	38	104	0,53	19	35,8
3	17/MI	425	48	88	0,28	23,8	85,0
4	20/MR	200	30	118	0,63	17	27,0

Microciclos de choque o impacto: 10,11,12; 16-17-18; con CEM en los microciclos 11 y 17. Los microciclos 3 y 20 coinciden con RM completos, los CEM coinciden con RM y tests de campo. Dos de ellos durante microciclos de impactos.

MD: microciclo de desarrollo. MI: microciclo de impacto. MR: microciclo de recuperación.

Tabla 14. Resultados de la ergoespirometría en los microciclos 3º y 20º. Valores de lactato, en los 100 m. mariposa en el microciclo 21º.

I Macro ciclo. 28 Microciclos:	VO ₂ máx (ml. kg ⁻¹ .min ⁻¹).	% UA	Lactatemia Mmol.L ⁻¹
3/MD	61,5 / 99,5 % FCM	93,2	9,4 al 3'
20/MR	63,8 / 100,5% FCM	90,1	14,1 al 7'
21/MD *100 m. mariposa	–	–	16,7 al 7'

MD: microciclo de desarrollo. MR: microciclo de recuperación.

10.8.5 Informe Médico-deportivo

Con estos datos se entregó el informe siguiente:

Nadadora ACM.

Etapa: PFE. Hasta el microciclo 21

Hallazgos de importancia:

- Control endocrino-metabólico en fase anabólica en estos momentos. Las recomendaciones individuales para mejorar la recuperación a partir del microciclo 17º han sido acertadas. Existe muy buena recuperación a las cargas del entrenamiento, que se confirma en los controles del microciclo 20º, y en su respuesta al entrenamiento.
- Deshidratación moderada (densidad: 1020).
- Resto del estudio de analítica normal.
- Valoración clínica y nutricional normal.
- Posee buenos hábitos de alimentación.
- Complejo de vitaminas y minerales del tipo XXX, como único suplemento.
- Desde el punto de vista antropométrico, se encuentra muy bien, de forma gradual.
- Han mejorado sus indicadores de fuerza: mayor % peso magro, índice AKS, buen somatotipo (mesomórfico balanceado), acompañado de una disminución del % de grasa corporal.
- Presenta buenas relaciones hidrodinámicas: índice bitrocantérico/ biacromial, altura sentada / estatura, y de la envergadura con respecto a la estatura.
- Tensión arterial de reposo 110/ 70. FC de reposo: 48 Lpm.

- Respuestas cardiovasculares durante el reposo, el ejercicio máximo y la recuperación, normales.
- Consumo máximo de oxígeno relativo: bueno (63,8 ml. kg⁻¹.min⁻¹).
- Adecuada distribución de los umbrales aeróbico y anaeróbico.
- Respecto al estudio anterior ha mejorado el VO² máx./kg a expensas del potencial anaeróbico, con un % menor del UA con un pequeño desplazamiento a la izquierda y con una mayor producción de lactato.
- Respuesta hemodinámica buena en la prueba de esfuerzo (PE) con valores de 210/60 mm Hg, alcanzándose al 9º minuto de la recuperación 130/70.
- Mayor producción de lactato en los diferentes tests de campo, incluida la ergoespirometría.
- El test progresivo de 8 x 200 m. mariposa fue bueno, realizado en el microciclo 20º. Se observa una adecuada relación de trabajo en las diferentes áreas de intensidad con respecto a las respuestas biológicas y su eficiencia deportiva.
- El test específico de 100 m. mariposa, en el microciclo 21º, fue excelente, igualando su mejor marca histórica, y con muy buena producción de lactato.
- Se diagnostica ligera sobrecarga del manguito de los rotadores del hombro derecho.

Las conclusiones y recomendaciones son las siguientes:

- Mejorar la hidratación, incluyendo soporte hidromineral, mediante bebidas isotónicas. Vigilar en esta etapa la importancia de una buena reposición de hidratos de carbono.
- Magníficas condiciones antropométricas.
- Su estado actual endocrino-metabólico, clínico y fisiológico es muy bueno, lo cual se evidencia por los CEM, los estudios de ergoespirometría, y los diferentes tests específicos de natación.
- Es necesario el seguimiento de la deportista, a través de controles de campo, CEM, controles de sus respuestas cardiovasculares ante el entrenamiento, etc. todo ello como consecuencia de que ya se encuentra en una óptima forma deportiva, y aún quedan siete microciclos por vencer para la competición fundamental.
- Se indica crioterapia y ejercicios de *Coodman* (pendulares) en ambos hombros. Incluir ejercicios con gomas de *Thereband*. Mantener un masaje corporal semanal de tipo relajante, así como la utilización del jacuzzi semanal.

- Garantizar la mejor recuperación de la deportista a través de:
 - Una relación adecuada de entrenamiento y recuperación.
 - Horario de sueño de 8 a 9 horas.
 - Alimentación e hidratación adecuadas, importante un buen balance hidromineral, con la utilización de suplementos de vitaminas y minerales.
 - Adecuada recuperación del aparato locomotor.
 - Una buena preparación psicológica para la competición.
 - Opinamos que la nadadora puede alcanzar excelentes resultados en ambas distancias.

10.8.6 Resultado final

Durante la última competición del macrociclo (microciclo 28º), la nadadora alcanzó excelentes resultados, especialmente medallas de oro en los 100 y 200 m. mariposa con registros de records nacionales de 1'00".9 y de 2'07", respectivamente. En esa competición de 200 m. mariposa, se aplicó un test de campo para conocer la producción lactatemia máxima después de la prueba y la tasa alcanzada llegó a 17,0 mmol/L / 7'(séptimo minuto), lo cual muestra la eficiencia y potencial fisiológico de la nadadora.

Finalmente, la *Tabla 15* corresponde a los controles endocrino-metabólicos (CEM) de este Macro ciclo (que fueron en total 6), incluido uno del día siguiente a la última competición. Los primeros cuatro CEM fueron presentados en la *Tabla 13*, y ahora se completaban con los dos últimos controles, realizados al finalizar el microciclo 21º (microciclo de impacto, como el anterior).

El análisis de las variables muestra que este entrenamiento de impacto fue muy bien asimilado por la nadadora. Comparando los resultados con los del tercer control: la deportista mostró una respuesta anabolizante de su organismo en relación con los ciclos de impacto. El último control (el sexto) se llevó a cabo al día siguiente de haber culminado el Macro ciclo y demuestra un excelente estado endocrino-metabólico, que se corresponde a los resultados deportivos.

Tabla 15. Control Endocrino-Metabólico (CEM) a lo largo del I Macro ciclo.

T E S T S	I Macro ciclo Microciclos Tipos	CPK 20 – 250 U.L ⁻¹	Urea 20 – 57 mg. L ⁻¹ L	Ferritina 30 – 300 ng.L ⁻¹	Testosterona 0.1 – 1 ng.ml ⁻¹	Cortisol 5 - 25 Ug. dl ⁻¹	Índice Cortisol / Testosterona
1	3/MD	92	30	120	0,62	14	22,6
2	11/MI	274	38	104	0,53	19	35,8
3	17/MI	425	48	88	0,28	23,8	85,0
4	20/MR	200	30	118	0,63	17	27,0
5	23/MI	283	34	110	0,52	20	38,5
6	28/MC**	512	38	112	0,56	21	37,5

Microciclos de choque o impacto: 10, 11, 12; 16–17–18; 22–23; con CEM en los microciclos 11, 17 y 23. Los microciclos 3 y 20 coinciden con RM completos, los CEM coinciden con RM y tests de campo. Dos de ellos durante microciclos de impacto.

MD: microciclo de desarrollo.

MI: microciclo de impacto.

MR: microciclo de recuperación.

MC: microciclo de Competición** (2 oros).

Texto principal de consulta:

Pancorbo, A. *Medicina y Ciencias del Deporte y Actividad Física*. Madrid: Ergon, 2008. Capítulo 9: 221–248; Capítulo 13: 309–382.

Referencias de interés de consulta:

Billat, V. Use of blood lactate measurements for predictions of exercise performance and for control of training. *Sport Med.* 22(3): 157–175, 1996.

Bompa, T. *Periodização: teoria e metodologia do treinamento*. São Paulo: Phorte, 2002.

Brownlee, K.K ; Viru, M. ; Viru, A.M ; Behr, M.B ; Hackney, A.C. Exercise and the relationship between circulating cortisol and testosterone concentrations in men. *Wychowanie Fizyczne I Sport.* 50 (1) 13-16, 2006.

Fleck, S.J. ; Kraemer W.J. *Designing Resistance Training Programs*. Human Kinetics, 2004.

Forsyth, J.J ; Reilly, T. Circadian rhythms in blood lactate concentration during incremental ergometer rowing. *Eur. J. Appl. Physiol.* 92(1-2):69-74, jun. 2004.

Fox E.L. ; Bowers R. W. ; Rennie D.W. *The physiological basis for exercising and sports*. 5ª ed. 795–796. Philadelphia: Saunders, 1993.

Grosser, M ; Starisca, S. *Principios del entrenamiento*. Barcelona: Martínez Roca, 1988.

Harre, D. *Teoría del entrenamiento deportivo*. Buenos Aires: Stadium, 1987.

Hawkins, S.A. ; Marcell, T.J. ; Jaque... et al. A longitudinal assessment of change in VO₂max and maximal heart rate in master athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 (10): 1744–1750, 2001.

Kiupers, H.; Keiser, H.A. Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. *Sports Med.* 6 (2): 79–92, 1988.

Kraemer W. .J.; Ratames, N. A. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med.* 35 (4):339-361, 2005.

Lehman, M. ; Foster, C.; Keul, J. Overtraining in endurance athletes. a brief reviews. *Med. Sci. Sport. Exer.* 25 (7): 854–862, 1993.

Mader, A.; Liroen, H. Evaluation of Lactic acid anaerobic energy contribution by determination of postexercise lactic acid concentration of carcapillary blood in middle-distance runners and swimmers, *Axer. Physiol.* 4: 187–194, 1978.

Matveev, L. P. *Teoría general del entrenamiento deportivo*. Barcelona: Paidotribo, 2001.

Mathews, D.K. ; Fox, E.L. *The physiological basis of physical education and athletics*. Philadelphia: Saunders, 1976.

Pancorbo, A. *Medicina do Esporte. Princípios e Prática*. 337–400. Brasil: Artmed, 2005.

Pancorbo, A. *Medicina y Ciencias del Deporte y Actividad Física*. Madrid: Ergón, 2008.

Pancorbo, A.; Camassola A.P. ; Kolawkosky, A. *Diagnóstico preventivo de la fatiga crónica en atletas de kayak de alto rendimiento de ambos sexos de Brasil*. En fase de publicación.

Pancorbo, A. y colab. Integración de Variables Biomédicas para el Control del Entrenamiento. *Archivo de Medicina del Deporte*.7 (26): 185–195, 1991.

Pyne, D.B.; Mujica, I.; Reilly, T. Peaking for optimal performance: Research limitations and future directions. *J. Sport. Sci.* 27 (3): 195, 2009.

Platonov, V.N. *El entrenamiento deportivo: teoría y metodología*. Barcelona: Paidotribo, 1998.

Powers, S.K.; Howley, E.T. *Fisiología do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento físico e ao desempenho*. Manole, 2000.

Shephard R.J. Consume máximo de oxígeno. En: *La Resistencia en el deporte*. Paidotribo, 2000.

Siff, M.C; Verkhoshansky, Y. *Súper entrenamiento*. Barcelona; Paidotribo, 2000.

Tittel, K. ; Wutscher, K.H. La significación y valor informativo de los índices corporales para el pronóstico valorativo de la aptitud física de los atletas juniors. *Med. Ed. Fis.* 194–196, 1971.

Thiess, G.; Tschiene, P. ; Nickel, H. *Teoría y metodología de la competición deportiva*. Barcelona: Paidotribo, 2004.

Torres, I.; Isasi, A. ; Lanier, A. *Sistema de evaluación de variables del entrenamiento*. Cuba: Dirección de Alto Rendimiento del INDER, 1989.

Urhausen, A.; Kindermann, W. Diagnosis of overtraining. Whats Tools do We Have?. *Sports Med.* 32(2):95–102, 2002.

Verkhoshansky, Y.V. ; Lazarev, V.V. Principles of planning speed and strength/speed endurance training in sports. *NSCA Journal.* 11 (2):58-61, apr/may 1989.

Verkhoshansky, Y.V. Principles for a rational organization of the training process aimed at speed development. *Rev Treinamento Desportivo.* 4:3-7, 1999.

Weineck, J. *Entrenamiento óptimo*. Barcelona: Hispano Europea, 1988.

Weltman, A. *The blood lactate. Responses to exercise*. Human Kinetic, 1995.

Wilmore, J.H.; Costill, D.L. *Fisiología del esfuerzo del deporte*. 3ª ed. Barcelona: Paidotribo, 2000.

Eiben, O.G. The body composition and body fat patterning of male and female athletics. En: *Growth and development: Physique*. Budapest: A kademiai Kiado, 1977. Pág. 449–457.

11. CRITERIOS DE APLICACIÓN DEL CONTROL DE LACTATO EN LOS TESTS DE CAMPO

El ácido láctico como consecuencia de tener el grupo hidroxilo (-OH) en posición C2, presenta dos isómeros. Uno es el ácido D-láctico y el otro el ácido L-láctico, este último es el que tiene importancia biológica y puede ser metabolizado por el organismo humano. Tiene un peso molecular de 90,08 Da y un pKa de 3,5.

El ácido láctico, también se puede presentar en su forma ionizada, tras perder el H⁺ del grupo carboxilo y convertirse en el anión lactato. El ácido láctico tiene un pKa de 3,5; esto quiere decir que a un pH 3,5 un 50% de las moléculas estarán como ácido y la otra mitad como anión lactato. A un pH inferior al pKa habrá mayor proporción de moléculas en forma de ácido y a un pH mayor del pKa habrá mayor proporción de moléculas en forma de anión lactato. Por esta razón a un pH 7,4 (pH fisiológico de la sangre) todas las moléculas estarán como anión lactato. Por tanto en el cuerpo humano no hay ácido láctico sino lactato.

11.1 Ejercicio y lactato

El consumo energético de las células del músculo esquelético puede incrementarse hasta 1.000 veces desde el estado de reposo a un ejercicio de alta intensidad. Esta alta demanda energética excede la capacidad aeróbica de las células musculares y, entonces, una gran parte del ATP requerido viene del metabolismo anaeróbico.

El metabolismo anaeróbico del glucógeno conlleva, además, la acumulación de ácidos inorgánicos, de los cuales el ácido láctico es el más importante.

Al contrario de lo que mucha gente cree, el incremento de la cantidad de lactato no es causante directo de la acidosis ni es responsable de las agujetas. Tal y como se ha comentado previamente, el ácido láctico en el cuerpo humano se encuentra como lactato.

La acidosis que generalmente se asocia a la producción de lactato durante ejercicios extremos proviene de una reacción completamente distinta. Cuando se hidroliza el ATP, en ADP + P, se libera un catión hidrógeno. Este catión es el principal responsable de la disminución del pH.

Durante ejercicios muy intensos, donde toda la energía proviene de la glucólisis, se hidrolizan una gran cantidad de moléculas de ATP. Cuanto más intenso es el ejercicio más se utiliza la glucólisis y menos el metabolismo oxidativo. En estas condiciones se produce una gran cantidad de piruvato que se transforma en lactato (para regenerar el NAD⁺ necesario para que siga funcionando la glucólisis y seguir produciendo ATP), por lo que la concentración de lactato se eleva drásticamente. Pero al mismo tiempo se están hidrolizando grandes cantidades de ATP en ADP + P. En esta hidrólisis se genera un catión hidrógeno (H⁺) por cada molécula de ATP degradada, y es este catión el responsable de la acidosis por el ejercicio, y no el lactato. Cuantas más moléculas de ATP hidrolizadas, más producción de H⁺ y más acidosis.

Se ha publicado recientemente, la posibilidad de que el lactato pueda contribuir a un efecto alcalinizante, ya que es un anión y no contiene H⁺.

Los tests de campo son ampliamente utilizados en el ámbito deportivo y sirven para evaluar diferentes capacidades del deportista (fuerza, capacidad aeróbica, anaeróbica) así como el control rutinario del entrenamiento. Los protocolos se diseñan en función de la capacidad

que queremos valorar y también de la práctica deportiva a la que se dedique el deportista. Estos tests se realizan generalmente en el lugar de entrenamiento o competición del deportista y por lo tanto se debe tener en cuenta las condiciones climatológicas. Dentro de los tests de campo hay multitud de tests, siendo utilizado uno u otro en función del deporte y momento de la temporada.

Los tests incrementales son ampliamente utilizados pues permiten determinar el umbral anaeróbico individual (UAI), a través de las medidas de frecuencia cardiaca y lactato en una prueba donde se va aumentando progresivamente la velocidad, potencia, etc. en etapas de 3 a 4 minutos de duración, con el objetivo de conseguir un estado metabólico estable en cada etapa. Los tests incrementales pueden ser de etapas de tiempo fijo (aumenta la distancia al aumentar la velocidad) o de distancia fija (disminuye el tiempo en la etapa al aumentar la velocidad).

El lactato se produce continuamente en el organismo, incluso en reposo aunque su concentración aumenta sobre todo durante el ejercicio. La concentración de lactato basal, en reposo, en sangre se sitúa entre 1 y 2 mmol/l, mientras que en ejercicios intensos se pueden hallar concentraciones superiores a 20 mmol/l.

Hay que tener en cuenta que, independientemente de la intensidad de ejercicio, el ácido láctico siempre se va a producir y metabolizar, otra situación es que se acumule o no. Ahora bien, ¿se acumula ácido láctico durante el ejercicio? La respuesta es sí y no.

- No se acumula ácido láctico si la tasa de producción del mismo es menor o igual que la tasa de eliminación.
- Si se acumula ácido láctico si la tasa de producción del ácido láctico es mayor que la tasa de eliminación.

Estos puntos nos llevan, por tanto, a un concepto teórico que es el umbral anaeróbico. El umbral anaeróbico es aquella intensidad de trabajo (frecuencia cardiaca, velocidad, etc.) a partir de la cual se empieza a acumular ácido láctico.

La tasa de producción de ácido láctico se va haciendo mucho mayor que la tasa de eliminación a medida que incrementamos la intensidad de trabajo por encima del umbral anaeróbico, tal como puede observarse,

más adelante, en los gráficos del grupo de tests incrementales. El umbral anaeróbico es un parámetro individual y conviene recordar que no es un punto, sino una zona de trabajo (frecuencia cardiaca, velocidad, etc.).

El ácido láctico producido es metabolizado durante y después del ejercicio. Durante el ejercicio, el ácido láctico es metabolizado, pues sino siempre se acumularía, independientemente de la intensidad de ejercicio. Así actividades físicas realizadas a intensidades del umbral anaeróbico (umbral láctico) o por debajo del umbral anaeróbico no acumulan ácido láctico (a medida que se va sintetizando está siendo metabolizado); sin embargo un ejercicio físico por encima del umbral láctico, sí acumula ácido láctico, pues su producción es mayor que su eliminación por los órganos encargados de su metabolismo.

Durante el ejercicio intenso, cuando hay demasiada demanda de energía, el lactato se produce más rápidamente que la capacidad de los tejidos para eliminarlo y la concentración de lactato comienza a aumentar. Es un proceso beneficioso, porque la regeneración de NAD+ asegura que la producción de energía continúe y por tanto también el ejercicio.

¿Que utilidad nos da la cuantificación del ácido láctico en la medicina deportiva?

- Identificar el umbral anaeróbico individual (UAI)
- Planificar la intensidad de trabajo:
 - Entrenamiento láctico
 - Entrenamiento aeróbico
- Cuantificar la mejora con el entrenamiento

Identificar el UAI, bien realizando una prueba máxima incremental mediante valores espiratorios, calculando los umbrales ventilatorios, o bien utilizando el ácido láctico.

Una vez conocido el UAI, podemos entonces planificar la intensidad de entrenamiento. Si se realiza entrenamiento por encima del UAI, el entrenamiento será predominantemente láctico (anaeróbico), por el contrario si se entrena por debajo del UAI el entrenamiento será predominantemente aeróbico.

Una vez realizado un plan de entrenamiento, y en base a los anteriores datos, podemos entonces calcular la mejora del entrenamiento midiendo el ácido láctico mediante la realización de tests específicos que posteriormente serán comentados.

11.2 Tests de campo

Desde 1992 y hasta la fecha de hoy, han solicitado análisis de ácido láctico, al Centro de Medicina del Deporte del Consejo Superior de Deportes, las siguientes federaciones:

Atletismo	Judo
Baloncesto	Lucha
Ciclismo	Natación
Deportes de invierno	Piragüismo
Deporte minusválidos físicos	Remo
Deporte para ciegos	Rugby
Hockey hierba	Triatlón

Los tests realizados en las diferentes federaciones no siempre son iguales aunque en algunos casos pueden coincidir, pero siempre modificados para el deporte que se practica.

Los tests de campo que se realizan se pueden agrupar en tres grandes grupos:

- Tests incrementales (en este grupo incluiríamos los tests de confirmación o estado estable)
- Tests específicos o de entrenamiento
- Tests de competición (o simulación de competición).

11.2.1 Tests incrementales

Los tests incrementales, como su nombre indica, son ejercicios en los cuales se va aumentando progresivamente la carga de trabajo (velocidad, potencia, etc.). Lo más importante es conseguir un estado metabólico estable en cada estadio. Para ello los estadios se pueden programar por tiempo (estadios de 3–4 minutos) o por distancia (en este caso depende de la disciplina deportiva, por ejemplo en natación se pueden utilizar estadios de 200–400 m., en carrera se utilizan estadios de 1.600–2.800 m., etc.). En los tests por distancia, a medida que aumenta la velocidad disminuye el tiempo de ejercicio, mientras que en los test incrementales por tiempo, a medida que aumenta la velocidad aumenta la distancia recorrida.

Una misma disciplina deportiva puede utilizar indistintamente estadios de tiempo o distancia, por ejemplo, en atletismo el test incremental habitualmente utilizado consta de estadios de 4 minutos de duración, con incrementos de velocidad de 1,5 km por estadio y dos minutos de recuperación entre ellos; sin embargo para maratón se utilizan estadios de 2.400 m. (para mujeres) o 2.800 m. (para hombres), con reducción de 4 segundos por kilómetro en mujeres o 2,5 segundos por kilómetro en hombres.

En los tests incrementales se aumenta paulatinamente la velocidad, potencia, etc. en estadios de 3–4 minutos, cuantificando el lactato en cada estadio. Este ejercicio se continua hasta el máximo esfuerzo, tomándose muestras, en la fase de recuperación, a los 3, 5, 7, 10, 15, 20 y 30 minutos de finalizado el test. Otros centros realizan tomas a los 2, 4, 6, 8, 10, etc. Lo importante es identificar el tiempo de toma de muestra de la recuperación para poder situarlo en la gráfica.

Características de algunos tests incrementales.

· Test incremental con estadios de 4 minutos e incremento de velocidad de 1,5 km/h.

Este test es el utilizado habitualmente en atletismo. Se utiliza a principio (septiembre a noviembre) y mitad de temporada (febrero–marzo) para ajustar el entrenamiento, una vez hallado el umbral láctico.

En este test la velocidad inicial es 11,5 km/h para velocistas y 13,0 km/h para mediodfondistas en adelante. En cada estadio se aumenta la velocidad 1,5 km/h y se dejan dos minutos de recuperación. Se toma una muestra de sangre al finalizar cada estadio. El test termina cuando el deportista ya no puede continuar, en ese momento se pone el cronómetro en marcha (para controlar la fase de recuperación) y se toma una muestra para análisis de lactato. Se toman muestras en la fase de recuperación en los minutos 3, 5, 7, 10 y 20. (Gráfico 1).

Con este test es fácil calcular el umbral anaeróbico individual (UAI). Para ello se traza una línea paralela al eje X, en el punto de finalización del ejercicio y desde el punto de corte con la curva de recuperación de lactato, se traza una línea tangente a la curva de lactato. El punto de contacto marca el UAI. (Gráfico 2).

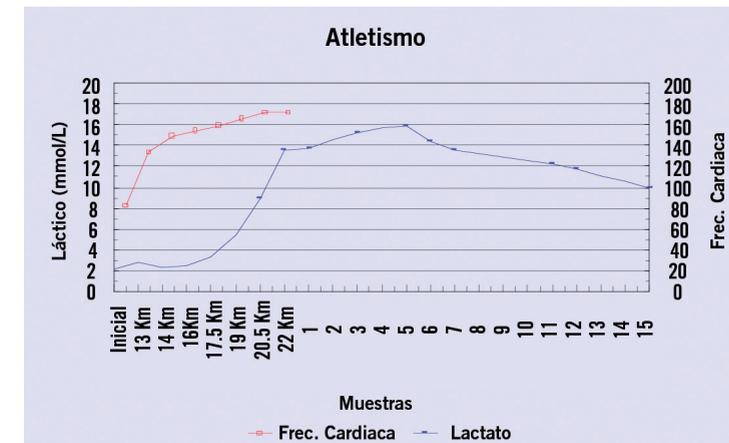


Gráfico 1. Test incremental diseñado para Atletismo, con estadios de 4 minutos de ejercicio y 2 minutos de recuperación entre cada estadio. El incremento de velocidad entre cada estadio es de 1,5 km/h.

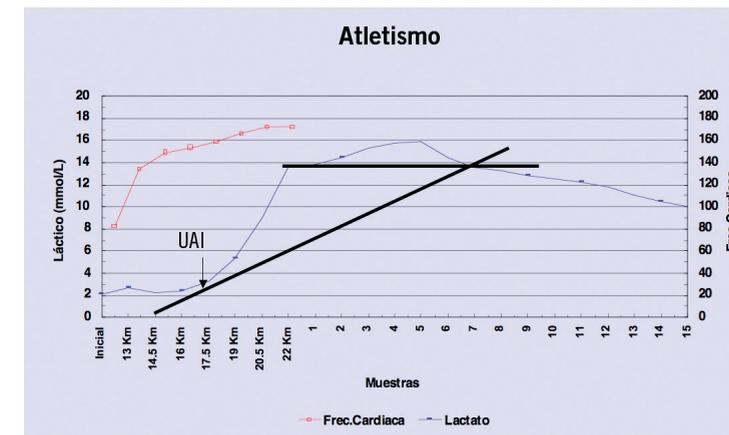


Gráfico 2. Cálculo del UAI, utilizando el test incremental de Atletismo.

La velocidad máxima a la que se suele terminar el test oscila entre 20,5 ó 22 km/h (en hombres), en mujeres habitualmente es un escalón menor (19 km/h ó 20,5 km/h). No obstante, el record de velocidad máxima para este test es de 23,5 km/h (estadio incompleto), realizado por un deportista de 3.000 m. obstáculos.

· Test incremental con estadios de 4 minutos e incremento de velocidad de 1,0 km/h.

El test incremental de atletismo se puede modificar y ser utilizado en otras disciplinas donde los deportistas no acaban con velocidades de carrera tan altas. Recientemente lo hemos utilizado en un equipo de baloncesto de la ACB, utilizando estadios de 4 minutos, pero en este caso los incrementos de velocidad fueron de 1,0 km/h. (Gráfico 3). Se puede calcular el UAI de forma idéntica al test anterior.

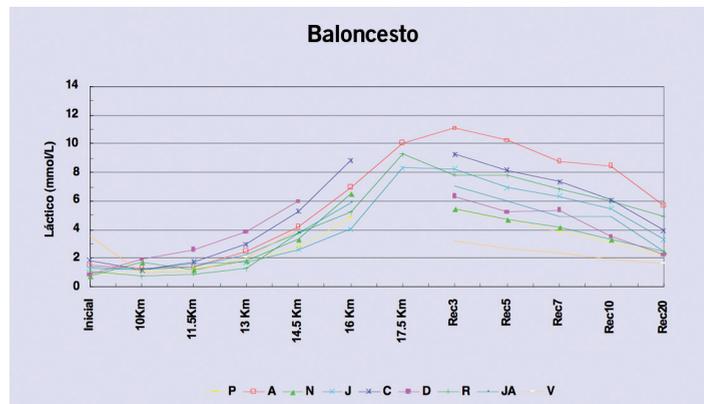


Gráfico 3. Test incremental diseñado para Baloncesto, con estadios de 4 minutos de ejercicio y 2 minutos de recuperación entre cada estadio. El incremento de velocidad entre cada estadio es de 1,0 km/h.

· Test incremental de 7x200, 6x300, 5x400 m.

Usados ampliamente en natación o triatlón. El utilizar una distancia u otra es en función de la prueba que habitualmente realice el deportista. A medida que el deportista compite en una prueba de mayor distancia, la distancia del test es mayor. En este test habitualmente se dejan 2 ó 3 minutos de recuperación entre cada estadio, y se toma muestra para análisis de lactato al finalizar cada estadio. No obstante en ocasiones algunos entrenadores prefieren tomar la muestra para lactato del último estadio a los 3 minutos de finalizar el test, y no una muestra inmediata. Posteriormente se toman el resto de muestras en la fase de recuperación a los 5, 7 y 10 minutos. (Gráficos 4, 5, 6)

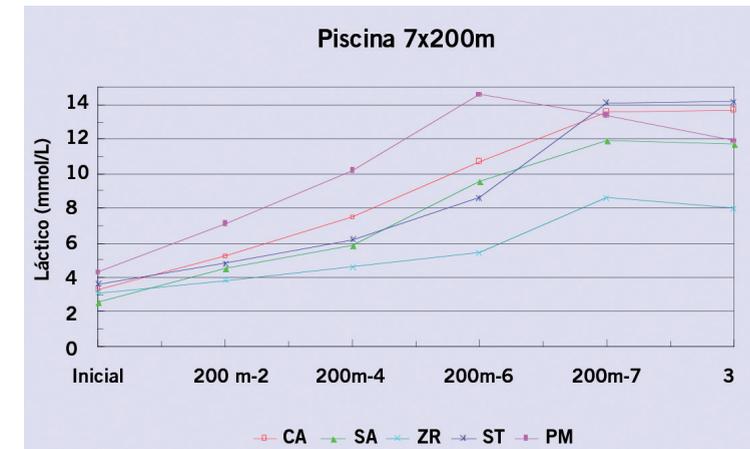


Gráfico 4. Test incremental 7x200m utilizado en Natación y Triatlón.

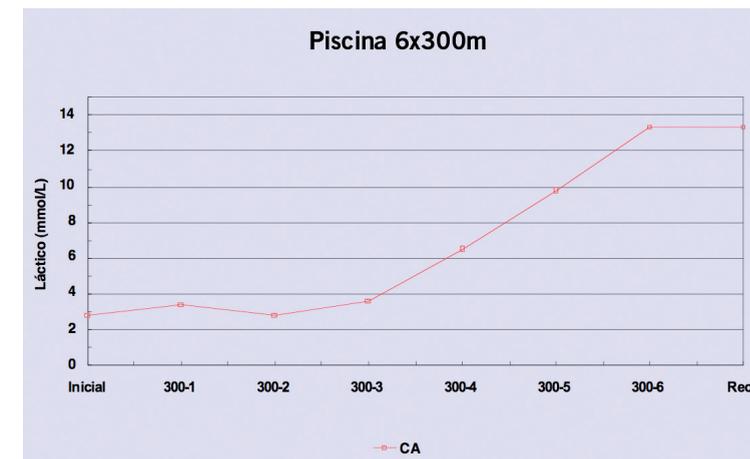


Gráfico 5. Test incremental 6x300m utilizado en Natación y Triatlón.



Gráfico 6. Test incremental 5x400m utilizado en natación y triatlón.

· Test incrementales en triatlón

El triatlón es un deporte único, al mezclar 3 disciplinas deportivas (natación, ciclismo y carrera), las cuales se entrenan específicamente, pudiendo realizarse tests incrementales para cada una de las tres especialidades deportivas.

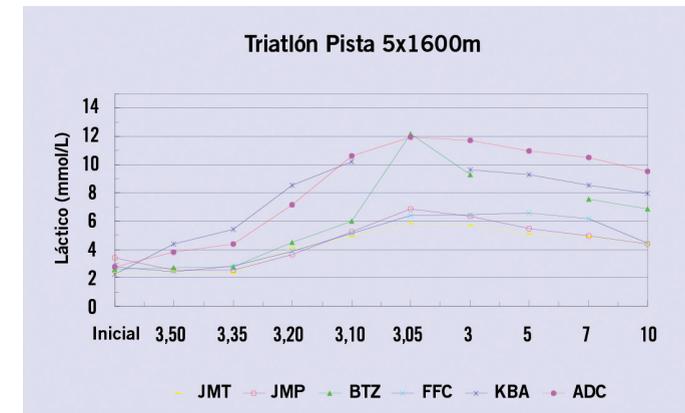
En este caso los tests incrementales deben realizarse para cada una de las especialidades deportivas. Se debe hacer un test incremental tanto para ciclismo, natación o carrera. El orden de realización de los tests debería ser: primero test incremental de ciclismo (trabajo muscular de tren inferior), después natación (trabajo muscular de tren superior) y por último test incremental de carrera.

El test incremental de ciclismo, habitualmente se realiza utilizando la propia bicicleta del triatleta (mediante un rodillo donde se fija la rueda trasera de la bicicleta) y con el velocímetro, plato pedalier y coronas se controla la velocidad, frecuencia de pedalada y potencia empleada en el test.

En el test incremental de natación se utilizan los tests de 7x200 ó 6x300, e incluso 5x400 m. para el triatlón de larga distancia.

En el test incremental de carrera se utiliza, habitualmente, 5x1600 m. con unas velocidades de test de 3'50"-3'35"-3'20"-

3'10"-3'05"/Km, y un tiempo de recuperación entre cada estadio de 2 minutos. (Gráfico 7).



· Test incremental del VALLE

Test inicialmente descrito por Tegtburg (1993), para natación.

Fue un test ampliamente utilizado en natación. Se basa en la realización de un test a máxima intensidad, de 1 minuto de duración, una recuperación de 7 minutos y posteriormente, a los 8 minutos de recuperación, la realización de un test incremental.

Este test también se ha utilizado en atletismo, variando las distancias (600 m. a un ritmo de casi al 100%), seguido de un periodo de descanso, de unos 10-12 minutos, para a continuación realizar un test incremental, de distancias entre 1200-1600 m.

Tal y como se ha explicado previamente, en los primeros estadios del test incremental la tasa de producción de lactato es menor que la tasa de eliminación con lo que el lactato se va metabolizando, hasta llegar a un punto donde se produce un equilibrio entre la producción y eliminación, a partir de este punto el lactato se va acumulando. La forma que dibuja la

concentración de lactato semeja a un pico-valle-pico. El punto del valle donde se halla la concentración mínima de lactato correspondería con el umbral anaeróbico o, como se denomina en este caso, punto de lactato mínimo. (Gráfico 8)

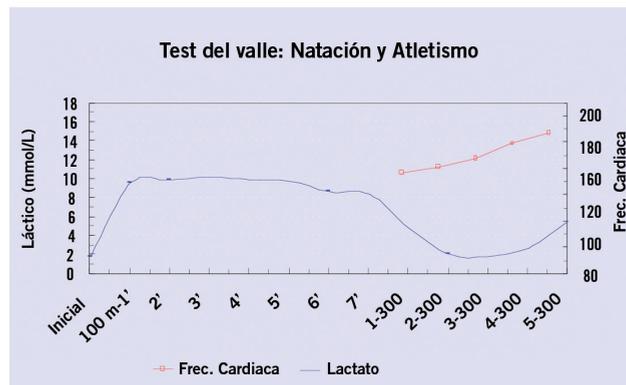


Gráfico 8. Test del lactato mínimo descrito por Tegtburg (1993). Inicialmente descrito para Natación, también ha sido usado en Atletismo, modificando las distancias de ejercicio.

· Test incremental 5x2400 m. o 5x2800 m.

Test desarrollado específicamente para maratón. Consiste en la realización de un test incremental de 5x2400 m. para las mujeres y de 5x2800 m. para los hombres.

Para las mujeres se realiza el primer test empezando a 3'46"/km y se va incrementando la velocidad en 4 segundos por kilómetro (3'46"-3'42"-3'38"-3'34"-3'30"/km). Aproximadamente un mes más tarde se realiza un segundo test en el que, normalmente, se empieza un estadio posterior (3'42"-3'38"-3'34"-3'30"-3'26"/km).

Para los hombres el test a realizar es 5x2800 m. y en este caso la velocidad se incrementa en 2,5 segundos por kilómetro. En el primer test, las velocidades habituales son (3'12"5-3'10"-3'07"5-3'05"-3'02"5/km), mientras que para el segundo test, normalmente, las velocidades utilizadas son (3'10"-3'07"5-3'05"-3'02"5-3'00"/km). (Gráfico 9).

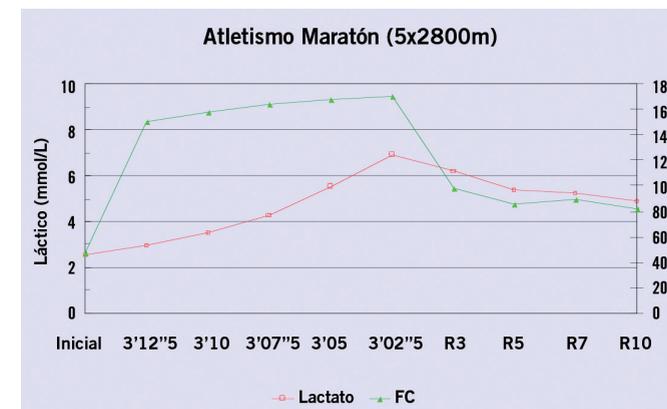


Gráfico 9. Test incremental diseñado para Maratón. Los hombres realizan 5x2800m, mientras que las mujeres realizan 5x2400m.

El primer test se realiza aproximadamente dos meses antes de la competición, y el segundo un mes después del primer test, que coincide, aproximadamente, un mes antes de la competición.

Una vez realizado el test incremental y hallada la velocidad del umbral, se realiza al día siguiente un test de estado estable, para las mujeres se utiliza 3x2800 m., mientras que para los hombres se utiliza 3x3200 m. (Gráfico 10).

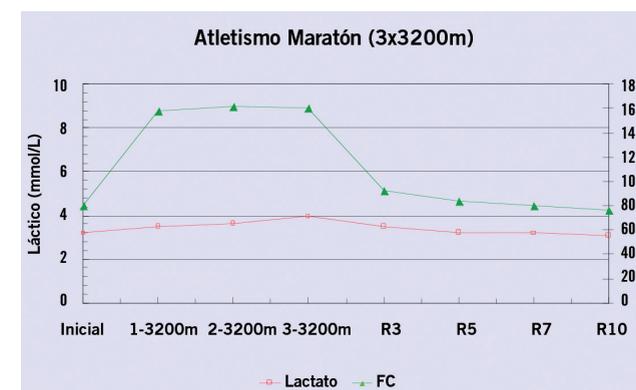


Gráfico 10. Test de estado estable diseñado para Maratón. Los hombres realizan 3x3200m, mientras que las mujeres realizan 3x2800m.

Los tests de estado estable se basan en realizar un ejercicio a una intensidad, velocidad constante durante un periodo de tiempo no menor de 20–30 minutos, tomando muestras de ácido láctico cada 5–10 minutos.

Si la concentración de ácido láctico va disminuyendo paulatinamente, estamos por debajo del umbral anaeróbico. Por el contrario, si éste va en aumento estaremos por encima de dicho umbral. Ahora bien, si las concentraciones de ácido láctico se mantienen más o menos constantes (es admisible una pequeña variación) estaremos realizando el test a la intensidad del umbral anaeróbico.

11.2.2 Tests específicos o de entrenamiento

· Doble intensidad

Los tests de doble intensidad se basan en el test de Mader. Se pueden realizar sobre cualquier distancia, dependiendo de la prueba que realice el deportista, aunque el test clásico se realiza sobre 300 m. Este test se basa en la realización de un primer estadio de 300 m. al 80% de su velocidad máxima y tras de un periodo de recuperación de unos 20 minutos se corren 300 m. a velocidad máxima. Se grafican los lactatos máximos de cada 300 m. y se traza una recta entre los dos puntos. El test se repite a los 3–4 meses y se grafica de forma similar al primer test. Si la recta se desplaza a la derecha indica una mejora del deportista, pues a mayor velocidad produce igual o menos lactato. Por tanto, es un test que nos permite ver la mejora del deportista con el entrenamiento a lo largo de la temporada deportiva. Actualmente es un test poco utilizado.

· Entrenamiento

Los tests de entrenamiento sirven para valorar qué está sucediendo durante un entrenamiento específico del deportista, se puede realizar haciendo cuestas, series de diferentes distancias, intensidad, tiempo, etc. Son tests muy interesantes pues nos permiten valorar que sucede en el entrenamiento habitual del deportista.

Estos tests son también de gran importancia pues se puede realizar a principio de temporada, repetirlo a mitad y a final de temporada, comprobando las variaciones que se producen.

Ver Gráficos 11 y 12 de ejemplos de tests realizados en entrenamientos típicos de deportistas.



Gráfico 11. Test de campo de entrenamiento. Ejemplo de entrenamiento habitual de un grupo de Atletismo, el ejercicio realizado fue de 12x300 m.

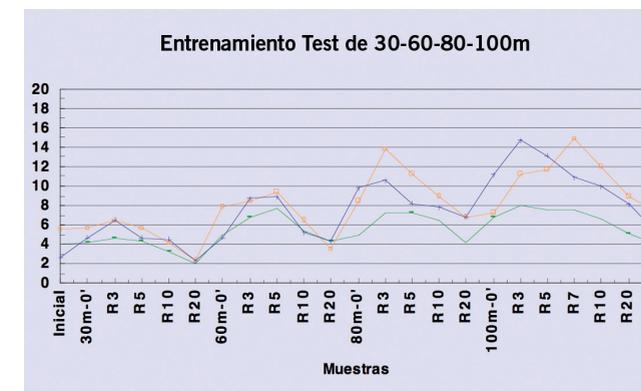


Gráfico 12. Test de campo de entrenamiento. Ejemplo de entrenamiento habitual de un grupo de velocidad de Atletismo, el ejercicio realizado fue 30-60-80-100 metros, con recuperación entre cada ejercicio de 20 minutos

Llama la atención los resultados del test de 12x300 m., donde se alcanzan lactatos de 20,9 mmol/L, pero también son interesantes los resultados del test de 30–60–80–100 m. Si observamos con detenimiento la gráfica podemos ver como con una carrera de 30 m. (aproximadamente 3-4 segundos) se alcanzan lactatos de 4–6 mmol/l. En la carrera de 60 metros (aproximadamente 7 segundos), el lactato es de 8–10 mmol/l. Estos resultados, en principio, son contradictorios con los descritos en los libros clásicos de fisiología, en los cuales se dice que en un ejercicio de corta duración (pocos segundos de duración) se utilizan los fosfágenos (Creatina fosfato) como combustible muscular, y por tanto es un metabolismo aláctico. No obstante, estos estudios han sido realizados con personas sedentarias y no con deportistas de alto nivel. Esta respuesta láctica es como consecuencia del entrenamiento específico que realizan los deportistas de velocidad, para intentar aprovechar todos los recursos energéticos disponibles (Creatina fosfato y glucólisis).

11.2.3 Tests de competición (o simulación de competición)

Dentro de este grupo de test de lactato están incluidos los tests de lactato tomados en competición (lactatos de recuperación post-competición) y los tests de simulación de competición.

· Los tests de simulación de competición

Son aquellos que se realizan con la idea de intentar estandarizar la simulación de un combate (Coptest en judo o Test de Lucha). Dado que de un combate a otro los ejercicios y el gasto energético pueden ser completamente diferentes, con estos tests se pueden obtener datos muy interesantes referentes a la preparación física del deportista y acumulación de fatiga para el siguiente combate. En las Gráficas 13 y 14, se pueden observar gráficas de lactato de un test de judo (Coptest) y un test de lucha.

El Coptest es un test ampliamente utilizado en Judo, en los tests realizados en los deportistas estudiados en el centro de medicina del deporte (Gráfico 13), la concentración máxima de lactato hallada osciló entre 10–14 mmol/L.

El test de lucha se basa en la simulación de tres combates de 2 minutos, con ejercicios de inmovilización, subida por cuerda, etc. Tras un periodo de recuperación de 15 minutos se vuelve a realizar el mismo el mismo test. Con esta simulación podemos comprobar el lactato máximo que se puede obtener en un combate de lucha, así como la recuperación para un siguiente combate, que pudiera producirse 15 minutos después del primero. En el Gráfico 14, se puede observar que se alcanzan concentraciones de lactato de 13 mmoles y cómo en el siguiente combate uno de los deportistas ya no es capaz de alcanzar los valores de lactato del primer combate, por la fatiga acumulada del primer combate.

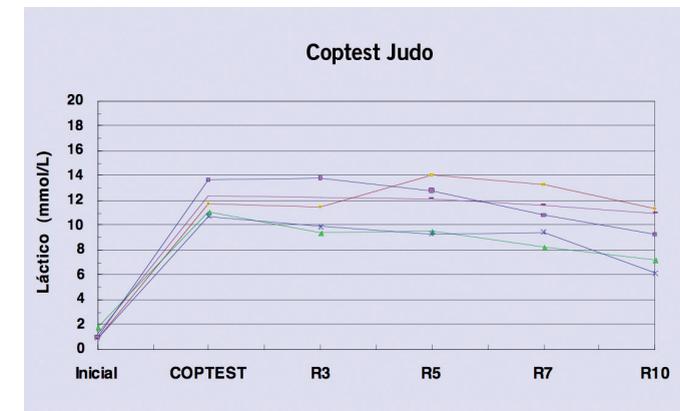


Gráfico 13. Test de simulación de combate de judo (COPTEST)

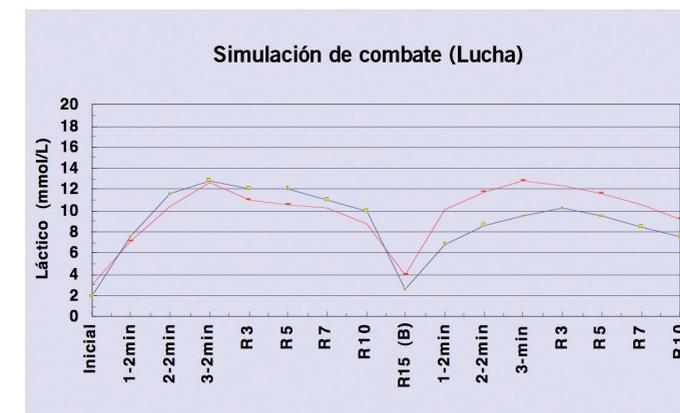


Gráfico 14. Test de simulación de combate de Lucha.

Recientemente, como consecuencia del seguimiento y preparación para la olimpiada de 2016, en la que el rugby a 7 será una modalidad olímpica, se ha realizado un seguimiento a la selección nacional de rugby a 7 en diferentes torneos internacionales, tomando muestras de lactato después de cada uno de los partidos realizados en los torneos. El rugby a 7 consiste en jugar dos tiempos de 7 minutos con un descanso entre cada tiempo de 2 minutos. Como en cada tiempo se pueden cambiar jugadores, a aquellos jugadores que no volvían a jugar se les tomaba, con un cronómetro, la recuperación y se tomaron muestras de lactato a los 3, 5, 7, 10 y 20 minutos. Aquellos jugadores que jugaban los dos tiempos o bien entraban en la segunda parte y terminaban el partido se les tomaba muestra para análisis de lactato, una vez finalizado el partido, a los 3, 5, 7, 10 y 20 minutos.

En la *Tabla 1* se pueden observar los resultados de concentración de lactato (mmol/l) en un torneo internacional en hombres, y en la *Tabla 2*, los resultados obtenidos en mujeres.

Tabla 1. Muestras tomadas en el XX Torneo Internacional de Rugby a 7. Universidad Complutense de Madrid. 12 de junio de 2010. (Hombres A-K)

Muestras	Partido	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Rec1	1	11,9	12,7	9,9	9,4	14,1	12,8	11,7	9,9		9,9	
Rec3		10,1	11,9	8,3	8,1	12,7	11,2	11,7	9,6		7,4	11,8
Rec5		10,1	11,0	8,0	7,6	11,7	10,9	11,7	8,5		*	
Rec7		8,9	10,4	6,4	6,5	10,9	9,8	4,8	7,4		7,1	
Rec10		8,1	8,4	5,8	5,3	9,6	8,3	8,4	6,4		6,0	
Rec20		5,4	5,9	3,4	3,5	6,2	4,6	4,1	3,7		3,5	
Comentarios		1º+ 2º Tiempo	1er Tiempo	1º+ 2º Tiempo	1er Tiempo	1º+ 2º Tiempo	2do Tiempo	1er Tiempo	2do Tiempo		1º+ 2º Tiempo	2do Tiempo
Rec1	2	10,4	8,1	7,9	4,3	11,9	9,1	10,5	10,1	15,9		11,3
Rec3		6,9	6,8	7,8	3,7	10,6	9,0	9,7	8,0	12,9		9,3
Rec5		8,9	6,9	6,8	3,1	9,8	7,6	8,8	9,4	14,5		6,2
Rec7		8,2	6,0	6,2	2,8	9,2	6,4	8,2	8,3	12,9		7,0
Rec10		7,2	5,0	4,8	2,3	8,0	5,7	7,2	7,5	7,2		5,5
Rec20		4,2	2,6	2,2	1,5	5,0	3,2	3,3	3,1	7,3		3,6
Comentarios		1er Tiempo	1er Tiempo	2do Tiempo	1er Tiempo	1º+ 2º Tiempo	1º+ 2º Tiempo	2do Tiempo	2do Tiempo	1º+ 2º Tiempo		1º+ 2º Tiempo
Rec1	3	8,4	5,4	11,7		*	*	7,2	7,0	5,7	5,5	10,3
Rec3		6,3	3,4	10,7		9,5	10,2	5,8	6,3	4,9	4,5	10,4
Rec5		6,8	4,2	9,9		8,0	8,1	3,7	5,4	4,2	3,8	9,6
Rec7		6,4	4,2	8,7		7,2	7,5	3,8	4,9	3,6	3,6	8,8
Rec10		5,5	3,1	7,2		5,9	5,0	3,4	4,0	3,1	3,0	6,9
Rec20		3,6	1,6	4,0		4,2	3,4	1,9	2,5	2,2	2,2	4,4
Comentarios		2do Tiempo	1º+ 2º Tiempo	1er Tiempo		1º+ 2º Tiempo	1º+ 2º Tiempo	4min. 2do Tiempo	1º+ 2º Tiempo	1º+ 2º Tiempo	2do Tiempo	1er Tiempo
Rec1	4				3,8	13,4					7,9	
Rec3					3,6	12,2					7,0	
Rec5					3,1	11,1					5,9	
Rec7					2,8	10,9					5,5	
Rec10					2,4	9,8					4,6	
Rec20					1,8	5,9					3,0	
Comentarios				1º+ 2º Tiempo	1º+ 2º Tiempo			1er Tiempo			1er Tiempo	

Tabla 2. Muestras tomadas en el XX Torneo Internacional de Rugby a 7. Universidad Complutense de Madrid. 12 de junio de 2010. (Mujeres A-J)

Nombre	Rec1	Rec3	Rec5	Rec7	Rec10	Rec20	Comentarios
A	5,6	4,6	4,5	4,0	3,2	2,2	1º+ 2º Tiempo
B	4,2	3,8	3,3	3,0	2,8	2,2	1º+ 2º Tiempo
C	7,2	6,4	5,4	5,0	4,0	2,6	1º+ 2 min 2º Tiempo
D	5,9	*	4,6	4,5	3,9	2,5	1º+ 2º Tiempo
E	7,0	6,0	5,3	4,7	4,4	2,8	1º+ 2 min 2º Tiempo
F	3,5	3,0	2,9	2,5	2,2	1,5	2do Tiempo
G	15,5	14,3	13,1	12,4	10,8	7,4	1er Tiempo
H	10,0	8,3	8,3	8,3	6,0	3,2	2do Tiempo
I	8,9	7,8	7,1	6,7	5,9	3,4	2do Tiempo
J	4,0	1,6	1,6	1,7	1,9	1,3	1º+ 2º Tiempo

· Los test de lactato post-competición

Sirven para valorar que está sucediendo durante una competición específica del deportista. Se supone que el deportista en competición va al 100% de sus posibilidades, con lo cual nos permite valorar el lactato máximo que puede desarrollar así como comparar sus resultados con los de otros competidores. Este lactato máximo, y los tiempos que ha empleado en la competición, nos permite compararlo con los lactatos que se obtienen de los tests específicos que se realizan a lo largo de la temporada, así como programar las velocidades de carrera en los tests de lactato.

A continuación se muestran los resultados medios de lactato de varios deportes tomados en sus respectivos Campeonatos o pruebas de selección.

En la *Tabla 3*, se pueden observar los valores medios máximos de las diferentes pruebas de atletismo de Campeonatos de España. Al ser valores medios, no reflejan los valores máximos hallados en algunas pruebas como 400 m. o 400 m. vallas, donde en ocasiones se han llegado a medir concentraciones de 24 mmol/L. Así mismo, en carreras de larga duración, como 5.000 m., donde el lactato máximo oscila entre 12–14 mmol/L, la intensidad de carrera de los últimos 400 m. puede alterar los valores de lactato hallados, pudiendo encontrarse en estos casos valores de lactato de 20 mmol/L. Por este motivo, los valores de lactato deben ser siempre analizados con cautela y teniendo en cuenta las circunstancias de la carrera.

Tabla 3. Resultados (media \pm desviación estándar) de lactatos máximos obtenidos en Campeonatos de España de Atletismo.

	110V	200	400	400V	800	1500	3000 Obs	500	10/20 Km Marcha
X (M)		16,55	19,12	18,27	17,43	15,82		10,8	5,7
SD		0,65	2,42	1,36	1,58	1,19		2,48	1,87
X (H)	11,91	16,66	19,62	18,15	17,33	15,55	15,66	13,47	2,6
SD	1,42	2,06	2,80	2,34	3,07	2,57	3,66	0,90	0,90

Una vez hallados los valores máximos de lactato, los datos en los que debemos prestar mayor atención son el valor de lactato máximo, el tiempo del lactato máximo y la recuperación del lactato (lactato al minuto 20 de recuperación). Con estos datos podemos ultimar la preparación del deportista, ajustando el número e intensidad del entrenamiento de series y el tiempo de recuperación entre series, así como la necesidad de realizar mayor trabajo aeróbico que ayude a mejorar la metabolización de lactato.

En la *Tabla 4*, se pueden ver, a nivel comparativo, los valores máximos de lactato de competiciones nacionales de natación y piragüismo. Se puede observar como a igual tiempo de ejercicio los valores máximos de lactato son inferiores a los hallados en competiciones de atletismo.

Tabla 4. Resultados (media \pm desviación estándar) de lactatos máximos obtenidos en competiciones de natación y piragüismo.

	MEDIA \pm SD
PRUEBA	NATACION
50m	11,8 \pm 2,6 (n=26)
100m	14,6 \pm 3,4 (n=47)
200m	13,8 \pm 3,0 (n=50)
400m	13,1 \pm 3,6 (n=16)
800m-1500m	9,3 \pm 3,4 (n=8)
PRUEBA	PIRAGUISMO
500m KAYAK	11,5 \pm 1,7 (n=8)
1000m KAYAK	10,6 \pm 2,4 (n=4)

Bonen, A. Lactate transporters (MCT proteins) in heart and skeletal muscles. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32 (4): 778–789, 2000.

Bonen, A.; Tonouchi, M.; Miskovic, D.; Hedde, C.; Heikkila, J. J.; Halestrap, A. P. Isoform-specific regulation of the lactate transporters MCT1 and MCT4 by contractile activity. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 279 (5): E1131–E1138, 2000.

Brooks, G. A.; Fahey, T. D.; White, T. P. *Exercise Physiology. Human Bioenergetics and Its Applications.* 2ª ed. Mountain View: Mayfield Publishing Company, 1996.

Faude, O. Lactate Threshold Concepts: How Valid are They? *Sports Med.* 39 (6): 469–490, 2009.

Gladden, L. B. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J. Physiol.* 558 (1): 5–30, 2004.

McLellan, T. M.; Jacobs, I. Active recovery, endurance training, and the calculation of the individual anaerobic threshold. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21 (5):586-592, 1989.

Pilegaard, H.; Terzis, G.; Halestrap, A.; Juel, C. Distribution of the lactate/H⁺ transporter isoforms MCT1 and MCT4 in human skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 276 (5): 843-848, 1999.

Svedahl, K.; MacIntosh, B. R. Anaerobic threshold: The concept and methods of measurement. *Can. J. Appl. Physiol.* 28 (2): 299–323, 2003.

Tegtbur, U.; Busse, M. W.; Braumann, K. R. Estimation of individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25 (5): 620–627, 1999

12. ALIMENTACIÓN, EJERCICIO FÍSICO Y DEPORTE

Nieves Palacios Gil-Antuñano
Zigor Montalvo Zenarruzabeitia

Colaboradora: Ana María Ribas Camacho

Año tras año, se incrementa el nivel de exigencia de los deportistas, las marcas cada vez son mejores (y tienen que seguir mejorando) y el margen entre la victoria y la derrota cada vez es menor. En este contexto, una buena alimentación y una hidratación adecuada, resultan primordiales para adaptarse a los entrenamientos, optimizar el rendimiento y acelerar la recuperación. La atención y el cuidado de todos los detalles, por mínimos que parezcan, puede marcar una diferencia fundamental para la persona que compete.

No hay una dieta óptima única para todos: las necesidades cambian según la temporada y las características de la persona que entrena, por lo que tiene que ser individualizada.

Uno de los hechos demostrados que más contribuye a la fatiga en el deportista es la aparición de deshidratación debida a la pérdida -a través del sudor- de agua y electrolitos, por lo que mantener la hidratación es muy importante para el rendimiento. Se recomienda la ingesta de líquidos antes, durante y después del ejercicio, sobre todo cuando hace calor. La reposición de sales minerales es necesaria cuando la tasa de sudoración es alta.

Una dieta bien elegida ofrece muchas ventajas al deportista:

- Óptimo beneficio del programa de entrenamiento.
- Mejora de la recuperación entre los periodos de entrenamiento y las competiciones.
- Lograr y mantener un peso corporal adecuado.
- Reducir los riesgos de lesión y enfermedad.
- Confianza en el estado de preparación a la hora de enfrentarse a la competición.

12.1 Requerimientos energéticos durante el ejercicio

El músculo esquelético cubre sus demandas energéticas durante el ejercicio a través de los substratos que provienen de la ingesta de nutrientes o de las reservas del organismo. En función de la actividad o ejercicio físico desarrollado se utilizarán vías diferentes para la obtención de energía:

- En actividades de potencia (pocos segundos de duración y elevada intensidad) el músculo utiliza el sistema de los fosfágenos (ATP y fosfocreatina).
- Para actividades de hasta dos minutos de duración a una gran intensidad se utilizará la vía glucolítica no oxidativa (metabolismo anaeróbico láctico).
- En actividades más prolongadas el sistema utilizado es el aeróbico u oxidativo (hidratos de carbono, grasas y proteínas).

Es muy difícil la participación en solitario de uno de los sistemas energéticos, por lo que realmente se tendría que hablar del predominio de uno de ellos sobre los demás en una actividad física determinada y en cada momento.

Para aportar una adecuada ingesta energética diaria y mantener un óptimo rendimiento, hay que tener en cuenta el gasto calórico de cada deportista de forma individual, ya que la cantidad de energía que se debe consumir difiere según las características propias de cada sujeto, de la actividad física realizada (tipo de deporte, intensidad, duración etc.) y de las condiciones ambientales en las que tiene lugar el entrenamiento o competición.

La ingesta calórica diaria más correcta para la persona que hace deporte es aquella que mantiene su peso corporal adecuado para un óptimo rendimiento y aumenta al máximo los efectos del entrenamiento.

12.2 Macronutrientes y ejercicio físico

12.2.1 Hidratos de carbono

Los Hidratos de Carbono (HC) que se consumen con la dieta se almacenan en el organismo en forma de glucógeno, en músculos e hígado. La capacidad para mantener por más tiempo una determinada intensidad de trabajo (resistencia), es mayor cuanto mayor es el almacén de glucógeno muscular. Por ello, el contenido de glucógeno es un factor determinante del rendimiento físico.

El glucógeno muscular no puede por si solo aportar toda la energía necesaria durante el transcurso de un ejercicio físico prolongado. Se ha demostrado que la glucosa sanguínea contribuye a suministrar energía en los ejercicios de larga duración; durante el esfuerzo físico el glucógeno hepático se convierte en glucosa (glucogenolisis) que es transportada por la sangre a los músculos en movimiento.

Los carbohidratos suponen un suplemento energético importante para las personas que hacen ejercicio, pero tienen una vida media corta, por lo que es necesario reponerlos todos los días a través de los alimentos. Los requerimientos diarios de carbohidratos que necesitaría un deportista medio equivaldrían a 7-8 g. por Kg. de peso corporal y día. Cuando se realizan ejercicios de menos de 60 minutos de duración se recomienda una ingesta de unos 6g./Kg. de peso/día (aproximadamente el 60% de las calorías totales) y en los deportistas que entrenan más de dos horas al día es conveniente una ingesta de unos 8-10 g. de HC/Kg. de peso/día.

Las recomendaciones generales de la toma de Hidratos de Carbono tras las diferentes intensidades de entrenamiento son las siguientes:

- Recuperación inmediata después del ejercicio (0-4 horas): tomar 1g. de HC/Kg. de peso/hora, a intervalos frecuentes.
- Recuperación diaria de entrenamientos de duración moderada y baja intensidad: tomar 5-7g. de HC/Kg. de peso/día.
- Recuperación diaria de entrenamientos extremos (>4-6 horas/día): tomar 10-12 g. de HC/Kg. de peso/día.

12.2.2 Lípidos

Durante la actividad física prolongada las grasas son, junto a los Hidratos de Carbono, el principal combustible utilizado durante la contracción muscular, pero al contrario que éstos, sus reservas corporales son muy amplias. Su importancia en la producción de energía es a través del sistema energético aeróbico (que es aquel que se desarrolla cuando la intensidad del ejercicio no supera la capacidad del organismo de asimilar el oxígeno inspirado por los pulmones).

Las grasas se almacenan en el tejido adiposo y en el tejido muscular en forma de triglicéridos, siendo la fuente de energía más concentrada de nuestro cuerpo, pero no la más rápida, ya que necesita tiempo para poder ser utilizada como combustible: la movilización de los depósitos grasos del cuerpo, su posterior transporte hasta el músculo y su oxidación en él resulta un proceso lento que requiere unos 15-20 minutos para alcanzar su máximo rendimiento. Esto quiere decir que los Lípidos no son una buena fuente de energía inmediata (especialmente en las personas poco entrenadas), ya que el músculo necesita tiempo para disponer de las grasas durante el ejercicio. El entrenamiento de resistencia aumenta la eficacia de utilización de los lípidos por parte del músculo para producir energía. Esta situación conduce a un ahorro de glucógeno y glucosa, lo cual contribuye a mejorar el rendimiento, ya que permite aumentar la intensidad y duración de la actividad que se desarrolla.

Una dieta adecuada para el deportista, debe contemplar unas proporciones de grasas en ella no superiores al 30%, siendo deseable una contribución en torno al 20-25%, quedando así perfectamente cubiertas las recomendaciones de vitaminas liposolubles, ácidos grasos esenciales y energía. Tampoco es aconsejable disminuir la proporción de lípidos por debajo del 15-20%, pues se corre el riesgo de provocar carencias de algunos de estos nutrientes.

12.2.3 Proteínas

En las personas que realizan actividad física de forma habitual las necesidades de proteínas son mayores que en las personas sedentarias. Esto se debe tanto a un aumento de la degradación de las proteínas durante el ejercicio, como a un incremento de la biosíntesis proteica en la fase de recuperación.

Hay una serie de factores independientes que producen variación

individual en las necesidades proteicas, como son: el tipo de ejercicio, la intensidad y duración del mismo, el grado de entrenamiento, la disponibilidad de glucógeno y la ingesta energética.

Ejercicios de resistencia

El ejercicio de resistencia practicado de forma regular incrementa los requerimientos proteicos de una forma constante.

Las necesidades de proteínas dietéticas son mayores durante el periodo inicial de entrenamiento. Cuanto mayor es el grado de entrenamiento, menores son las necesidades proteicas.

En general, se sugiere que las necesidades de proteínas para deportistas de resistencia esté comprendida entre 1,2-1,4 gramos de proteína por Kg. de peso corporal y día.

Ejercicios de fuerza

El incremento de la ingesta de proteínas puede conducir a un aumento del desarrollo muscular siempre que se asocie a un entrenamiento de fuerza adecuado. Hay mayor masa muscular a las cuatro semanas de entrenamiento de fuerza cuando se eleva la ingesta proteica de 0,9 a 1,4 g. por Kg. de peso corporal y día. Consumos por encima de 2,4 g. de proteínas/Kg. de peso/día no producen ningún beneficio.

En general se admite que la ingesta óptima de proteínas relacionada con un máximo desarrollo muscular se sitúe entre 1,6-1,8 g/Kg. de peso/día, no siendo ni necesarias, ni beneficiosas, cantidades mayores a 2 g./Kg. de peso/día.

12.3 Micronutrientes y ejercicio físico

Las vitaminas y los minerales juegan un papel básico en el estado de salud del organismo y su importancia aumenta cuando se realiza actividad física, puesto que como reguladores metabólicos, intervienen en todos los mecanismos de adaptación a la misma (tanto en entrenamientos como en períodos de recuperación).

Dado que los micronutrientes participan en procesos bioquímicos primordiales para la vida (reproducción del ADN, respiración celular, destrucción de radicales libres, etc.) es fundamental prestar especial atención tanto a una posible deficiencia, como a la utilización de suplementos de forma incorrecta.

12.3.1 Vitaminas

Durante la práctica de ejercicio físico se incrementan las necesidades de algunas vitaminas implicadas en el metabolismo energético.

Las vitaminas del complejo B tienen dos funciones primordiales relacionadas con el ejercicio: las vitaminas B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), B6 (piridoxina), ácido pantoténico y biotina están implicadas en la obtención de energía durante la actividad física, mientras que el ácido fólico y la vitamina B12 (cianocobalamina) se utilizan para la producción de células rojas, la síntesis proteica y en la reparación y mantenimiento de los tejidos (funciones fundamentales para el organismo activo).

Hay deportistas con mayor probabilidad para presentar una ingesta pobre en sustancias antioxidantes, sobre todo aquellos que realizan dietas muy bajas en grasas o no comen frutas y verduras, o bien aquellos que tienen un aporte energético limitado.

Las necesidades diarias de vitaminas pueden quedar perfectamente cubiertas si se sigue de forma regular una dieta equilibrada y adaptada a las exigencias de cada deportista en cada momento.

Hasta ahora no se ha podido demostrar que un consumo muy superior a los requerimientos produzca beneficios claros sobre el rendimiento, exceptuando en aquellos deportistas con deficiencias o en algunas situaciones especiales.

12.3.2 Minerales

Hierro y ejercicio físico

El Hierro se encuentra formando parte de la hemoglobina, de la mioglobina y de diversas enzimas cuya función principal es el transporte de oxígeno a los tejidos y la participación en el metabolismo oxidativo (producción de energía).

El hierro es el elemento que combinado con el oxígeno genera la hemoglobina. Cuando el hierro y el oxígeno se encuentran se atraen, el oxígeno se oxida y el hierro se reduce para poder estar juntos. Esta unión es la clave para que el oxígeno sea transportado desde los pulmones (lugar de entrada al organismo a través de la respiración) hasta cada una de las células del cuerpo.

Esta es la explicación de la importancia de este mineral en la nutrición humana: sin hierro la producción de hemoglobina es deficiente y no llega suficiente oxígeno a las células del organismo.

Los hombres y las mujeres tienen necesidades distintas de hierro. Las necesidades de los varones varían entre 10-12 mg al día. La mujer desde que tiene la primera menstruación hasta que deja de tenerla va a necesitar un aporte mucho mayor de este mineral.

La deficiencia de hierro se debe a diversos factores:

- a) Ingesta calórica baja como puede ser el caso de personas que realizan dietas hipocalóricas muy restrictivas o vegetarianos muy rigurosos.
- b) Incremento de las demandas. Hay tres circunstancias muy bien definidas, como son el crecimiento (niños y adolescentes), el embarazo y la lactancia.
- c) Disminución de la absorción intestinal de hierro, sobre todo en dos situaciones:
 - Ingesta de alimentos ricos en este mineral junto con sustancias que impiden su absorción, como

por ejemplo alimentos ricos en taninos o con un contenido elevado en fibra y calcio.

- Realización de mucho ejercicio físico. Existen estudios que demuestran alteraciones de la absorción intestinal de hierro y su eliminación más rápida en los deportistas de élite. De hecho aproximadamente un tercio de los deportistas de alto nivel tienen bajos los almacenes de hierro. Por deportes, parece ser que los atletas de fondo y los maratonianos en general (sobre todo las mujeres) son los grupos con mayor riesgo de presentar ferropenia.

- d) Aumento de las pérdidas de hierro, como es el caso de las mujeres con menstruaciones abundantes, o personas con úlcera duodenal, hemorroides, etc.

Debido a la alta prevalencia de ferropenia entre los deportistas (sobre todo en las mujeres), hay que asegurar un aporte adecuado de hierro en su dieta, recomendándose tomar carne y/o pescado todos los días, e incluir alimentos que contengan sustancias facilitadoras de su absorción, como los cítricos, y las frutas en general. Los alimentos que contengan sustancias inhibitorias y sean fundamentales en la alimentación (por ejemplo la leche), deberán ser tomados a diferentes horas del día.

Calcio, Vitamina D, ejercicio y salud ósea

Probablemente dentro de los factores nutricionales, el más claramente identificado con el desarrollo óseo sea el calcio. El 99 % del calcio corporal está en el hueso. Si la ingestión de este elemento es inadecuada, el calcio del esqueleto se moviliza para mantener su nivel en sangre. Diferentes investigaciones han puesto de manifiesto la importancia del calcio de la dieta en la adquisición y conservación de la masa ósea.

La vitamina D (calciferol) es una vitamina liposoluble, cuyo papel fisiológico fundamental es el de asegurar los niveles plasmáticos de calcio y fosfato necesarios para conseguir unas condiciones favorables de mineralización del hueso. La vitamina D existente en el organismo tiene dos orígenes, la sintetizada en la piel (aporte endógeno) y la obtenida a partir de la dieta (aporte exógeno).

Las necesidades de vitamina D suelen cubrirse en los seres humanos si la piel se expone a una cantidad suficiente de luz solar o radiación ultravioleta artificial. La cuantía de vitamina D sintetizada por este método depende de numerosos factores (área de piel expuesta, del tiempo de exposición, tipo de piel, prendas de vestir utilizadas, permanencia en el interior de las casas, etc.) .Si se tienen en cuenta todos estos factores, hay que considerar que la vitamina D que proviene de la dieta (a través de aceite de hígado de pescado, pescados azules , yema de huevo, alimentos suplementados, etc.) es un nutriente esencial para los huesos.

El consumo correcto de Calcio vitamina D, el ejercicio físico y unos niveles hormonales adecuados son fundamentales para maximizar y mantener la masa ósea durante los años en los que un deportista es joven . Existe una interacción muy positiva entre el ejercicio y el consumo de Calcio, que potencia el aumento en la densidad mineral del hueso, tan importante para prevenir el riesgo de osteoporosis en el futuro.

12.4 Desordenes del comportamiento alimentario. La triada de la mujer deportista

Los trastornos de la conducta alimentaria (TCA) hacen referencia al conjunto de actitudes y estrategias asociados a una preocupación permanente y excesiva por el peso y la imagen corporal. Se pueden dar a lo largo de toda la vida en ambos sexos, aunque son más habituales durante la adolescencia y en las mujeres. Es frecuente la cronificación de esta alteración, con proliferación de casos subclínicos.

Los deportistas constituyen una población especial en lo que se refiere a la alteración en la percepción de su imagen corporal. Afrontan un mayor riesgo para desarrollar trastornos en la conducta alimentaria debido al propio ambiente deportivo, que llega no solo a precipitar estos tipos de desordenes en una persona predispuesta (o exacerbar algún síntoma ya existente), sino que incluso los legitima. Los indicios y signos de estas alteraciones en los deportistas de elite de algunas disciplinas determinadas a menudo son considerados como algo natural y se ignoran. Prevalen sobre todo en mujeres y en deportes en los que se requiere una imagen corporal definida y una categoría de peso determinada.

La exigencia de resultados y la presión a la que se someten muchos deportistas pueden desencadenar su desarrollo. Todo parece indicar

que la practica deportiva suma varios factores de riesgo, con lo que las posibilidades de enfermar aumentan.

La triada de la mujer deportista es un síndrome que comprende la existencia de desórdenes de la alimentación, amenorrea y osteoporosis. Los componentes de la triada están relacionados entre sí en su etiología, patogénesis y consecuencias. Generalmente esta triada comienza con una alteración en la conducta alimentaria. La nutrición inadecuada combinada con el ejercicio físico intenso resulta en un déficit de energía. Con el tiempo, esta deficiencia energética causa una disminución de la producción de estrógenos por el ovario, y esto a su vez da lugar a alteraciones de los ciclos menstruales y amenorrea. Finalmente, la ausencia de estrógenos y la alimentación insuficiente (déficit de vitaminas y minerales) se puede traducir en una pérdida de la densidad mineral ósea.

En el momento actual se están empezando a evaluar las serias consecuencias de la triada, ya que se asocia con una morbilidad importante y algunas de sus manifestaciones pueden no ser completamente reversibles.

12.5 Hidratación correcta en la práctica deportiva

El agua es un compuesto acalórico (no energético) fundamental para que nuestro organismo se mantenga correctamente estructurado y en perfecto funcionamiento. Es el componente más abundante del cuerpo humano. El organismo humano está formado por término medio por un 60% de agua. La pérdida de tan solo un 10% de la misma implica un grave riesgo para la salud, y si esta pérdida alcanza el 20%, puede incluso producirse la muerte.

El balance entre la ingesta de líquidos y las pérdidas tiene gran importancia y cualquier alteración del mismo puede poner en peligro la salud de las personas.

El aporte de líquidos al organismo procede de tres fuentes principales:

- Consumo de agua y otras bebidas como infusiones, refrescos, caldo, zumo, leche, etc.
- Contenido hídrico de los alimentos sólidos, que en algunos casos es muy elevado (frutas, hortalizas y sus preparaciones).
- Pequeñas cantidades de agua que se producen en los procesos metabólicos de proteínas, lípidos e hidratos de carbono (unos 300 ml diarios).

Las pérdidas de agua incluyen la eliminada por orina, heces, por respiración cutánea y a través de la respiración. Estas pérdidas aumentan considerablemente cuando se produce una mayor sudoración como consecuencia del calor ambiental o de la realización de ejercicio físico y en situaciones de diarrea, infección, fiebre o alteraciones renales.

Durante la realización de ejercicio físico, el agua está implicada de forma directa en las funciones de refrigeración, aporte de nutrientes a las células musculares, eliminación de sustancias de desecho y lubricación de articulaciones.

Si además tenemos en cuenta su papel en el mantenimiento de la concentración de los electrolitos, de ella también dependerán cometidos como la transmisión nerviosa, la contracción muscular y la regulación de los niveles de pH.

La deshidratación es la pérdida dinámica de líquido corporal debida al sudor a lo largo de un ejercicio físico sin reposición de líquidos, o cuando la reposición no compensa la cantidad perdida. La deshidratación tiene un impacto negativo en la salud y sobre el rendimiento físico: perjudica la capacidad de realizar tanto esfuerzos de alta intensidad a corto plazo como esfuerzos prolongados.

Durante el ejercicio la sed no constituye un estímulo suficiente para prevenir la deshidratación. La reducción del líquido extracelular, junto al incremento de la osmolaridad plasmática, estimula los osmorreceptores hipotalámicos cuando ya se ha perdido casi el 2% del peso corporal y, en este momento, la termorregulación ya está comprometida.

La deshidratación afecta al rendimiento deportivo porque:

- Disminuye la obtención de energía aeróbica por el músculo.
- El ácido láctico no puede ser transportado lejos del músculo.
- Disminuye la fuerza.

12.5.1 Bebidas especialmente diseñadas para el deportista

Las soluciones líquidas que se utilizan durante la realización de ejercicio físico reciben el nombre general de bebidas especialmente diseñadas para deportistas o bebidas deportivas. Sus principales objetivos son:

- Aportar una cierta cantidad de HC que mantenga una concentración adecuada de glucosa en la sangre.
- La reposición de electrolitos, sobre todo del sodio.
- Evitar la deshidratación.

Estas bebidas saben mejor, lo que las hace más apetecibles y son consumidas en mayor cantidad. Este tipo de preparados, especialmente adaptados, ayudan a solucionar problemas específicos para que se pueda alcanzar un balance nutricional óptimo. Los efectos beneficiosos no están limitados sólo a deportistas que realizan un ejercicio muscular regular e intenso, sino también a aquellas personas que por sus trabajos hacen esfuerzos importantes o en condiciones adversas, y a aquellas personas que durante su tiempo de ocio hacen ejercicio físico y entrenan.

En el documento publicado en 2001 por el Comité Científico de la Alimentación Humana (CCAH) de la Unión Europea se recomiendan los siguientes márgenes en la composición de las bebidas para tomar durante la práctica deportiva:

- Calorías: suministrarán entre 80-350 Kcal./litro. Al menos el 75% de las calorías provendrán de Hidratos de Carbono con un alto índice glucémico (Glucosa, Sacarosa, Maltodextrinas).
- Hidratos de Carbono: suministrarán no más de un 9 % de hidratos de carbono (90 gr./l.).
- Sodio: suministrarán entre 460-1150 mg. de Sodio por litro.
- Osmolalidad: debe estar entre 200-330 mOsm/Kg. de agua.

Datos a tener en cuenta sobre la composición de la solución para rehidratar en el ejercicio:

- Que aporte energía en forma de hidratos de carbono de absorción rápida.
- Que reponga los electrolitos y el agua perdidos durante la actividad.
- Que se absorba bien en el intestino.
- Que tenga buen sabor.
- Que mantenga el volumen plasmático.
- Que no tenga alcohol.

En el caso de las bebidas de rehidratación después del esfuerzo físico se recomienda ir a los niveles altos, tanto de energía (300-350 Kcal./l.), como de Sodio (40-50 mmol/l.) y que contengan algo de potasio (2-6 mmol/l.).

12.5.2 Consejos generales para prevenir la deshidratación durante el ejercicio.

Es importante controlar la temperatura y humedad ambiental, moderar la actividad en situaciones desfavorables, entrenar a las horas menos calurosas del día, utilizar prendas blancas (reflejan la radiación solar), ligeras, sueltas y porosas, desprenderse de ropas mojadas, utilizar gorra para la cabeza como escudo contra el calor del sol y protegerse de la radiación solar con cremas (hay que saber que las resistentes al agua pueden dificultar la evaporación del sudor).

En todo caso, es conveniente tener en cuenta los siguientes puntos:

- Es esencial la ingesta de suficiente líquido durante todo el día, para conseguir un buen estado de hidratación previo a la realización del ejercicio físico.
- Es fundamental conocer la importancia que tiene beber antes, durante y después de la realización de actividad física.
- Las bebidas frescas (10-15° C) y de sabor agradable estimulan la ingesta hídrica.
- Hay que estar alerta ante los primeros síntomas de deshidratación, como son los calambres, el vértigo, la fatiga, etc.

12.6 Conclusiones

Para la persona que hace ejercicio moderado de forma habitual, el entrenamiento, una dieta adecuada y una buena hidratación durante todo el día, y de forma específica mientras dura la actividad física, son las maneras más eficaces y correctas de aumentar el rendimiento.

Los deportistas de elite y/o de alta competición tienen un nivel de actividad mayor y más intensa, su organismo está sometido a un sobreesfuerzo, y sus metas son distintas, por lo que suelen presentar unas necesidades diferentes que han de ser individualizadas en cada momento.

Debido a la naturaleza distinta de los deportes, y las diferencias individuales entre las personas que realizan actividad física (edad, sexo, talla, peso, etc.) es muy difícil hacer una guía general que englobe todas las necesidades y recomendaciones nutricionales para esta población, pero en general hay que prestar atención especial a los siguientes puntos:

- Consumir suficiente energía.
- Procurar mantener un peso adecuado.
- Aumentar la ingesta de hidratos de carbono (>60 % de la energía total).
- Conseguir un consumo correcto de micronutrientes (Hierro, Calcio, etc.).
- Beber suficiente líquido antes, durante y después del ejercicio físico.
- Realizar una dieta variada.
- Repartir la ingesta energética en 5 tomas a lo largo del día.
- Prestar atención a la alimentación cuando se realizan viajes o cuando se entrena en circunstancias especiales (en altitud, ambientes calurosos y húmedos, etc.).

Bryant RJ, Ryder J, Martino P, Kim J, Craig BW. Effects of vitamins E and C supplementation either alone or in combination on exercise induced peroxidation in trained cyclist. *Strength Cond Res.* 17(4): 792-800, 2003.

Burke LM, Cox GR, Culmings NK, Desbrow B. Guidelines for daily carbohydrate intake: do athletes achieve them?. *Sport Med.* 31(4): 267-269, 2001.

Burke LM, Kiens B, Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci.* 22(1): 15-30, 2004.

Carrithers JA, Williamson DL, Gallagher PM, Godard MP, Schultze KE, Trappe SW. Effects of postexercise carbohydrate-protein feedings on muscle glycogen restoration. *J Appl Physiol.* 88(6): 1976-82, 2000.

Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep.* 100(2): 126-31, 1985.

Constantini NW, Eliakim A, Ziegel L, Yaaron M, Falk B. Iron Status of highly active adolescents: evidence of depleted iron stores in gymnasts. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 10(1): 62-70, 2000.

Coyle EF, Jeukendrup AE, Oseto MC, Hodgkinson BJ, Zderic TW. Low fat diet alters intramuscular substrates and reduces lipolysis and fat oxidation during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 280: 391-398, 2001.

Horvath PJ, Eagen CK, Fisher NM, Leddy JJ. The effects of varying dietary fat on performance and metabolism in trained male and female runners. *Journal of the American College of Nutrition.* 19(1): 52-60, 2000.

Houtkooper L. Eating disorders and disordered eating in athletes. En: *Clinical Sports Nutrition.* Ed. Louise Burke and Vicki Deckin. McGraw-Hill. Australia, 2002.

IOC Consensus statement on sports nutrition 2003. *J. Sports Sci.* 22(1): X, 2004.

Machefer G., Groussard C., Rannou-Bekono F., Zouhal H., Faure H., Vincent S, Cillard J., Gratas-Delamarche A. Extreme running competition decreases blood antioxidant defense capacity. *Journal of the American College of Nutrition.* 23(4): 358-364, 2004.

Maughan R.J. Food and fluid intake during exercise. *Can. J. Appl. Physiol.* 26: S71-S78, 2001.

Palacios N. Nutrición y ejercicio físico. *Nutr. Hosp.* XV (Sup): 31-40, 2000.

Palacios N, Bonafonte L, Manonelles P, Manuz B & Villegas JA. Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición de líquidos. *Archivos de medicina del deporte.* Vol XXV(4): 245-258, 2008.

Palacios N., Montalvo Z. *Guía de alimentos dietéticos adaptados a un intenso desgaste muscular.* Nutrition and Santé Iberia, S.L. 2008.

Palacios N., Montalvo Z & Heras E. Alimentación, nutrición y ejercicio físico. En: *Manual de nutrición y metabolismo.* Bellido D & de Luis DA et al. Ediciones Díaz Santos, 2006.

Position of ACSM, American Dietetic Association and Dietitians of Canada Nutrition and athletic performance. *Med & Sci in sports & Exerc.* 32(12):2130-45, 2000.

Report of the Scientific Committee on Food on composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen. 20/03/2006.

Sanborn ChF, Horea M, Siemers BJ, Dieringer KI. (2000). Disordered eating and the female athlete triad. *Clin Sports Med.* 19 (2), 2000.

Sawka MN, Montain SJ. Fluid and Electrolyte Supplementation for Exercise Heat Stress. *Am J Clin Nutr.* 72. 2(2): 564S-572S, 2000-

Shi X, Bartoli W, Horn M, Murra YR. Gastric emptying of cold beverages in humans: effect of transportable carbohydrates. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 29(5): 329-359, 2000.

Takanami Y., Iwane H., Kawai Y., Shimomitsu T. Vitamin E supplementation and endurance exercise: are there benefits?. *Sports Medicine.* 29(2): 73-83, 2000.

Viitala P, Newhouse IJ. Vitamin E supplementation, exercise and lipid peroxidation in human participants. *Eur J Appl Physiol.* 93(1-2): 108-115, 2004.

Villa Vicente JG: El combustible para el ejercicio. En: Gonzalez Gallego J, Villa Vicente JG: *Nutrición y ayudas ergogénicas en el deporte.* Editorial Síntesis, 2001.

13. ERGOGENIA. SUPLEMENTOS DIETÉTICOS PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO

Nieves Palacios Gil-Antuñano
Zigor Montalvo Zenarruzabeitia

Colaboradora: Susana Ruíz Núñez

La palabra "ergogenia" proviene del griego "ergos" que significa trabajo, y "genan" que es generar. Se considera como "ayuda ergogénica" cualquier maniobra o método (nutricional, físico, mecánico, psicológico o farmacológico) realizado con el fin de aumentar la capacidad para desempeñar un trabajo físico y mejorar el rendimiento.

A lo largo de la historia se ha ido incrementando el nivel de exigencia de los deportistas: las marcas mejoran en un corto espacio de tiempo y tienen que seguir mejorando. Los entrenamientos se individualizan según las características del deportista, con lo que su técnica se optimiza. Esto hace que el margen entre la victoria y la derrota sea cada vez menor. La atención y el cuidado de todos los detalles puede representar una diferencia fundamental para conseguir el objetivo prioritario: mejorar la marca, ampliar la ventaja con el contrincante y ganar. En este contexto, además de una buena alimentación, que resulta primordial para adaptarse a los entrenamientos y rendir más en ellos, los alimentos dietéticos (ayudas ergogénicas nutricionales) destinados a los deportistas están cobrando cada vez más protagonismo. Son muchos los que hay en el mercado y además su número crece de forma vertiginosa. Algunos de ellos se presentan como alimentos sólidos, otros como bebidas y otros en forma concentrada y dosificada (de manera análoga a los complementos alimenticios). El momento y la finalidad de su uso varían ampliamente según sean las características específicas de cada deporte y la situación concreta del deportista. En esta publicación solo se van a revisar algunas de las ayudas ergogénicas nutricionales permitidas más utilizadas.

13.1 Criterios para considerar un producto alimenticio como alimento dietético adaptado a un intenso desgaste muscular, sobre todo para deportistas

El término alimento dietético equivale a producto dietético, a preparado alimenticio para regímenes dietéticos o especiales y a producto alimenticio destinado a una alimentación especial.

Estos productos son aquellos que, por su composición peculiar o por el particular proceso de su fabricación, cumplen tres características fundamentales (Real Decreto 1809/1991 de 13 de diciembre):

- Se distinguen claramente de los productos alimenticios de consumo corriente.
- Son apropiados para el objetivo nutritivo señalado.
- Se comercializan indicando que responden a dicho objetivo.

Una alimentación especial debe satisfacer las necesidades nutritivas particulares de diferentes colectivos, entre los que se incluyen determinados grupos de personas que se encuentran en condiciones fisiológicas particulares, como pueden ser las que realizan una gran actividad física, y que, por ello, obtienen beneficios especiales de una ingestión controlada de ciertas sustancias específicas contenidas en los alimentos.

En junio de 2000 (corregido en febrero de 2001), la Dirección General de Salud y Protección del Consumidor de la Comisión Europea, a través del Comité Científico de la Alimentación Humana (CCAH), publicó un informe sobre la composición de los alimentos y las bebidas destinados a cubrir el gasto energético en un gran esfuerzo muscular, sobre todo para los deportistas.

En este documento se indica que los alimentos y líquidos especialmente adaptados ayudan a solucionar problemas específicos para que se pueda alcanzar un balance nutricional óptimo. Estos efectos beneficiosos no están limitados sólo a deportistas que realizan un ejercicio muscular regular e intenso, sino también a aquellas personas que por sus trabajos hacen esfuerzos importantes o en condiciones adversas, y a aquellos que durante su tiempo de ocio hacen ejercicio físico y entrenan.

Según el CCAH, las categorías de los productos dietéticos adaptados a un intenso desgaste muscular, destinados sobre todo a los deportistas, son:

13.1.1 Productos alimenticios energéticos ricos en Hidratos de Carbono

Existe consenso general del papel primordial de la ingesta de Hidratos de Carbono (HC) en el rendimiento deportivo durante la realización de cualquier tipo de ejercicio físico, sobre todo del que dura más de una hora. Después de finalizar una actividad prolongada es fundamental la ingesta de una cantidad correcta de HC para restaurar los depósitos del glucógeno gastado en el hígado y los músculos.

Es durante estas horas cuando existe mayor riesgo de un consumo insuficiente de HC, con lo que la recuperación no será completa si éstos no se reponen de forma adecuada. Los alimentos sólidos y las bebidas ricas en HC, de alto índice glucémico, son una manera de garantizar que se llegue a alcanzar su ingesta óptima (10 g. de HC por Kg. de peso y día durante las 24 horas siguientes a la finalización del ejercicio).

13.1.2 Soluciones con Hidratos de Carbono y Electrolitos

Los dos hechos demostrados que más contribuyen a la aparición de fatiga durante el ejercicio físico son la disminución de los HC almacenados en forma de glucógeno en el organismo y la deshidratación por la pérdida, a través del sudor, de agua y electrolitos. Existen numerosas evidencias científicas que demuestran que, durante la realización de un ejercicio físico prolongado, la ingesta de soluciones con HC y electrolitos, en particular el sodio, mejora el rendimiento del deportista.

13.1.3 Concentrados de proteínas y alimentos con alto contenido proteico

Los deportistas, en general, tienen un ligero incremento de las necesidades proteicas, sobre todo al principio de la temporada y los menos entrenados. Su ingesta diaria recomendada puede estar entre 1,2 - 1,5 g. de proteínas por Kg. de peso y día, frente a los 0,8-1 g/Kg/día de las personas que no hacen deporte. También se ha demostrado que, al finalizar la realización de un ejercicio físico, la ingesta de productos (sólidos o líquidos) ricos en hidratos de carbono y proteínas acelera la síntesis del glucógeno gastado durante la actividad.

No hay evidencias de que consumos proteicos mayores a 3 g. por Kg. de peso y día mejoren el rendimiento deportivo.

13.1.4 Otros componentes y suplementos utilizados con objetivo ergogénico

Si la dieta es equilibrada en cantidad, calidad y regularidad no hay necesidad de utilizar suplementos alimenticios como vitaminas y minerales. En caso de ingestas energéticas escasas se corre el riesgo de presentar deficiencia de algún mineral o vitamina, lo que justificaría el uso de dichos preparados.

Hay otros componentes de los alimentos relacionados con el rendimiento físico (como pueden ser la cafeína, la creatina o determinados aminoácidos) que se consideran en otros apartados, más adelante.

13.2 Componentes de los alimentos y suplementos utilizados para mejorar la producción y el empleo de la energía, así como retrasar la fatiga

13.2.1 Hidratos de Carbono, antes y durante el ejercicio

La función principal de los Hidratos de Carbono (HC) es energética: sirven como combustible para el organismo, potenciando la contracción muscular. Otra de sus funciones es la de ahorro de proteínas, ya que cuando disminuyen las reservas de HC se puede sintetizar glucosa a partir de proteínas, con lo que se gastan. Si las reservas de HC son suficientes, no es necesario utilizar proteínas como fuente de energía, siendo empleadas para sus funciones fundamentales.

La mayoría de los HC son degradados en el tubo digestivo y llegan a la sangre en forma de glucosa. En situaciones de reposo, la mayor parte se almacena como glucógeno (polímero de la glucosa) en diferentes tejidos, especialmente en el hígado (unos 90-100 g.) y los músculos (unos 150 g. o más). Durante el ejercicio, el glucógeno muscular almacenado se utiliza como fuente específica de energía para el propio músculo. El hígado se comporta como distribuidor de la glucosa en el organismo, ya que en él, mediante la glucogenolisis, el glucógeno se puede convertir en glucosa y seguir tres rutas o caminos:

- Ser transportada, a través de la sangre, al músculo esquelético y al músculo cardíaco (sobre todo cuando los depósitos musculares de glucógeno están bajos).
- Ser metabolizada por algunos tejidos (cerebro, riñón, glóbulos rojos) que dependen del aporte constante de glucosa sanguínea para funcionar correctamente.
- Quedarse en el hígado en forma de depósitos de glucógeno.

La dieta del deportista debe llevar asociada una elevación en la ingestión de HC, constituyendo un objetivo que debiera ser prioritario para todos los deportistas, casi sin excepción; el agotamiento de los depósitos de glucógeno del organismo produce cambios importantes en su metabolismo.

Cuando se realiza ejercicio físico todos los días, a intensidades moderadas o elevadas, es conveniente consumir entre 5-6 g. de HC por Kg. de peso y día, por lo que en muchos casos, además de aumentar la ingesta de alimentos ricos en HC, es necesario tomar productos dietéticos con alto contenido en este macronutriente.

Para prepararse bien ante los eventos de especial relevancia se aconseja seguir una serie de medidas importantes, encaminadas a conseguir dos objetivos fundamentales:

- Asegurar las máximas reservas de HC muscular y hepático.
- Mantener un estado de hidratación óptimo.

Durante la semana previa a la competición se recomienda una ingesta elevada de HC en la dieta, que pueden suponer alrededor de un 75% de la energía (unos 560 g/día en una dieta de 3000 Kcal.). El resto se dividirá en un 15% de grasas y un 10% de proteínas. El día de la competición se realizará una comida rica en HC unas 3-4 horas antes del inicio del ejercicio para llenar por completo las reservas hepáticas y musculares de glucógeno.

El hígado es el encargado de mantener los niveles plasmáticos de glucosa y precisa que se realicen comidas frecuentes para conservar su pequeña reserva de HC. Los deportistas que se mantienen en ayuno las horas que anteceden a la competición corren el riesgo de sufrir una hipoglucemia durante el desarrollo de la prueba o partido. Por eso, la comida previa deberá ser rica en HC y pobre en grasas, proteínas y fibra. Se evitarán las salsas y especias.

Durante la hora previa a la competición se recomienda consumir alguna solución con hidratos de carbono de absorción rápida, para así favorecer una asimilación más veloz y eficaz de este nutriente, además de optimizar la hidratación.

Durante la competición la ingesta de HC dependerá de la intensidad y duración del ejercicio. En las pruebas de larga distancia lo ideal es tomar HC a un ritmo de 30-60 g/hora aproximadamente. Las bebidas especialmente diseñadas para el deportista son muy adecuadas porque, además de aportar HC, sirven para reemplazar las pérdidas de líquidos y sodio, y previenen la deshidratación.

13.2.2 Creatina

La Creatina (Cr) es un compuesto nitrogenado, sintetizado a partir de los aminoácidos Glicina, Arginina y Metionina, en riñón e hígado, aunque también se encuentra en algunos alimentos, sobre todo en las carnes y los pescados. De hecho, el término "Creatina" procede del griego (kreas), que significa literalmente "carne".

Una vez formada en el organismo o ingerida a través de la dieta, la Creatina es transportada al músculo esquelético (lugar de localización del 95% de Cr), donde se combina con el fosfato para crear la Fosfocreatina (PCr). Esta reacción es catalizada por la Creatina Quinasa (CK). Por último, se elimina por la orina en forma de Creatinina (unos 2 g. para 70 Kg. de peso). El organismo necesita, por tanto, unos 2 g. de Creatina al día, cantidad que es obtenida de los alimentos y de la biosíntesis endógena, a partes iguales.

La disponibilidad de Creatina es una limitación importante en ejercicios breves y de elevada intensidad, ya que su disminución produce una reducción en la síntesis de ATP. También se ha comprobado que la Creatina amortigua la acidosis intramiocitaria que tiene lugar con el ejercicio, mediante la utilización de los iones hidrógeno intracelulares (H⁺) para producir ATP, reduciendo así la fatiga muscular.

Se ha descrito que el uso de suplementos con Creatina produce aumentos hasta de un 20% del contenido intramiocitario de PCr, especialmente en las fibras tipo II. La mejora del rendimiento deportivo al tomar Cr se ha constatado en ejercicios de máxima intensidad y muy corta duración (hasta 10 s), en los que la PCr aporta la mayor parte del ATP necesario para la contracción muscular. La mayoría de los estudios en este tipo de ejercicios coinciden en señalar que la combinación de sesiones de entrenamiento de fuerza con la ingesta de Cr es más efectiva en la ganancia de fuerza y volumen muscular que el entrenamiento por sí sólo. Se debe tener en cuenta que esta asociación (entrenamiento y toma de Cr) produce un aumento de la masa muscular, de la masa libre de grasa y de la fuerza, debido al incremento de la síntesis proteica y a la retención de líquidos, por lo que la toma de Cr sólo podrá tener un efecto beneficioso sobre el rendimiento en aquellos deportes en los que el peso corporal no es determinante.

La toma de suplementos con Creatina mejora el aporte energético en los ejercicios de naturaleza intermitente que intercalan actividades de corta duración y muy alta intensidad con periodos largos de menor intensidad; en cambio, no supone ningún tipo de ventaja sobre el rendimiento aeróbico e incluso puede ser perjudicial si produce un aumento de peso.

La ingesta de Creatina junto con HC potencia su efecto anabólico, ya que se elevan los niveles de insulina, lo que ayuda a la translocación de los transportadores de Creatina desde el sarcoplasma al sarcolema, incrementándose así la permeabilidad de la membrana a la Creatina.

En la actualidad la mayor parte de los deportistas que toman este tipo de suplementos consumen una dosis diaria de 2-5 g., unos 60 minutos antes de la actividad física o inmediatamente después. En este sentido, hay que tener en cuenta que el ejercicio aumenta la captación de Creatina por parte de las células musculares hasta en un 10%. Algunos deportistas consumen cantidades altas de carga o saturación (de 10-20 g. al día) durante los primeros 5-7 días, para luego continuar con la dosis de mantenimiento.

13.2.3 Cafeína

La Cafeína es la 1,3,7-metilxantina. Se encuentra de forma natural en 63 especies vegetales diferentes. Los alimentos con mayor contenido en cafeína son el café (100 mg. en una taza), el té (unos 30 mg. por taza), las bebidas refrescantes de cola (40 mg. aproximadamente en una lata de 330 ml.) y el chocolate (10 mg. aproximadamente en una taza). Prácticamente el 90% de la Cafeína se vacía del estómago a los 20 minutos de su ingesta y alcanza el pico de concentración plasmática a los 40-60 minutos, siendo su vida media de 3-5 h. La mayor parte de la Cafeína se transforma en Paraxantina, que se excreta por la orina. La excreción urinaria de Cafeína como tal sólo representa el 1-3% del total ingerido.

Su mecanismo de acción fisiológico se desarrolla a tres niveles:

- Sobre el Sistema Nervioso Central (SNC): su efecto más conocido lo constituye su acción estimulante del SNC, aumentando el nivel de alerta del individuo y disminuyendo la percepción subjetiva de esfuerzo.
- Sobre el músculo: aumenta la movilización de Calcio del retículo sarcoplásmico, mejora los mecanismos de contracción muscular y retrasa la aparición de fatiga.
- Sobre el metabolismo energético: aumenta la movilización de Triglicéridos como consecuencia del incremento que produce en la liberación de Catecolaminas.

La mayor parte de los estudios sobre la acción ergogénica de la Cafeína se han centrado en ejercicios sub-máximos, con un elevado componente de resistencia. En este tipo de actividades (en torno al 85% del VO² máx.) se ha observado que retrasa la aparición de fatiga (en un 10-20%). Este efecto parece que puede prolongarse hasta 6 horas después de su ingesta, siendo menor en las personas que la consumen de forma habitual.

Se ha observado que la acción ergogénica de la Cafeína, a igual cantidad, es mayor cuando se ingiere en forma de suplementos o de refrescos con Cafeína, que cuando se toma a través del consumo de café. Parece que hay alguna sustancia en el café con una acción antagónica sobre el efecto ergogénico de la cafeína.

Las dosis administradas dependen de la tolerancia individual, pero las que han mostrado tener alguna consecuencia sobre el rendimiento, minimizando los efectos adversos, oscilan entre 2-8 mg./Kg. de peso corporal, consumidos una hora antes del ejercicio.

Esta sustancia, además, tiene efecto diurético en reposo, posiblemente a través de un mecanismo de bloqueo de la reabsorción de sodio por el riñón. Sin embargo, este proceso no se da durante el ejercicio, ya que la acción de las Catecolaminas, causando constricción en las arteriolas renales y reduciendo la tasa de filtración glomerular, contrarresta el efecto diurético de la cafeína.

13.2.4 Carnitina

La L-Carnitina es un componente que se puede biosintetizar en el organismo o ingerirse a través de la dieta (se encuentra sobre todo en las carnes rojas y la fracción sérica de los lácteos).

Durante los últimos veinte años multitud de estudios científicos se han centrado en analizar los efectos de esta sustancia sobre el rendimiento deportivo. En la actualidad es uno de los suplementos más utilizados por los deportistas.

La síntesis endógena de Carnitina tiene lugar a nivel hepático y renal a partir de los aminoácidos Lisina y Metionina. En esta síntesis también participan otros nutrientes, como la Vitamina C, Niacina, Vitamina B6, Hierro, Magnesio, Ácido Fólico y vitamina B12.

La L-Carnitina se absorbe en el intestino y alcanza el pico de concentración plasmática a las 3 horas y media de su ingesta, siendo su vida media de 15 horas. La absorción intestinal de L-carnitina se satura con dosis orales de 2 g.

Los principales reservorios de L-Carnitina son el tejido muscular esquelético y el tejido muscular cardíaco (entre los dos suponen el 98% del total de L-Carnitina corporal), y, en muy pequeña cantidad, el hígado

y los riñones, que tienen sistemas específicos de transporte para este compuesto.

La Carnitina es un producto final del metabolismo, por lo que se excreta directamente a través de la orina. La L-Carnitina desempeña un papel importante en el metabolismo de los Lípidos. Los ácidos grasos de cadena larga son la principal fuente de energía de la mayoría de los tejidos, incluido el tejido muscular, en estado de ayuno y durante ejercicios de intensidad baja y moderada. Esto es interesante ya que la principal función de la L-Carnitina sería la de participar en el transporte de los ácidos grasos de cadena larga hacia el interior de la mitocondria, donde son oxidados para obtener energía.

Se ha postulado que la toma de suplementos con L-Carnitina permite disminuir la grasa corporal, además de tener un efecto ergogénico en deportes con un elevado componente de resistencia, donde el aumento de la oxidación de ácidos grasos posibilita una menor utilización de glucógeno como fuente de energía, mejorando así el rendimiento.

Parece que la biodisponibilidad de la L-Carnitina a partir de los suplementos orales (14-18%) es más pequeña que cuando está de forma natural en los alimentos.

Con respecto a su efecto ergogénico, la concentración intramiocitaria de Carnitina disminuye notablemente durante ejercicios de resistencia, por lo que algunos deportistas utilizan L-Carnitina tanto para evitar su descenso como por su posible acción positiva sobre el rendimiento.

Aunque muchos trabajos encuentran que la ingesta de suplementos con Carnitina no aumenta su concentración intramiocitaria ni la tasa de oxidación de ácidos grasos y no mejora el VO_2 máximo, ni el rendimiento, otros estudios demuestran que la administración de L-Carnitina incrementa el recambio lipídico durante la contracción muscular, produciendo un ahorro de Glucógeno, con lo que se retrasa la aparición de fatiga y mejora el rendimiento deportivo. La dosis más habitual son 2-6 g./día de L-Carnitina, distribuidos en 2 ó 3 tomas de 1-2 g., ya que su absorción intestinal se satura con dosis orales de 2 g.

13.3 Componentes de los alimentos y suplementos utilizados para mejorar la capacidad de generar trabajo muscular

13.3.1 Proteínas

El papel de las proteínas como nutrientes estriba en ser el material fundamental que constituye los tejidos y las sustancias que controlan las actividades y funciones del organismo humano (enzimas, hormonas, proteínas de transporte, sistema de defensa, neurotransmisores, ácidos nucleicos, etc.). También pueden ser utilizadas como material combustible (proporcionando 4 Kcal./g. de proteína) bajo determinadas condiciones (defecto de otras fuentes energéticas, actividad física prolongada e intensa, etc.).

La ingesta proteica recomendada (RDA) es de 0.8-1 g. de proteínas por Kg. de peso y día en los adultos. En personas que practican deporte, tanto si está orientado a la mejora de la fuerza (aumento de la síntesis de proteínas musculares) como si lo está a la mejora de la resistencia (aumento de la tasa de oxidación de los aminoácidos), los requerimientos de proteínas están incrementados. Esto se debe fundamentalmente a la mayor degradación proteica durante el ejercicio y a la necesidad de un aumento de su síntesis durante la recuperación. En general, se sugiere que las necesidades de proteínas en los deportistas son del orden de 1,2-1,5 g. por Kg. de peso y día.

Hay una serie de factores independientes que producen variación individual en las necesidades proteicas, como son: el tipo de ejercicio, la intensidad y duración del mismo, el grado de entrenamiento, la disponibilidad de glucógeno y la ingesta energética.

El ejercicio de resistencia, practicado de forma regular, incrementa los requerimientos proteicos de una forma constante siempre que se entrena. La ingesta de suplementos proteicos y de determinados aminoácidos va a dar lugar a un ahorro de las proteínas estructurales que intervienen en la contracción muscular y a un aumento de la disponibilidad de aminoácidos en las células musculares y de la Fosfocreatina intracelular, con lo que se consigue más energía para el músculo en movimiento (sirven como combustible). Además, los suplementos proteicos (y, sobre todo, determinados aminoácidos) estimulan la secreción de Insulina y de hormona de crecimiento. Todas estas acciones van encaminadas a maximizar la síntesis proteica y a minimizar su catabolismo.

Los suplementos proteicos dietéticos se pueden recomendar a los deportistas por las siguientes razones:

- Para mejorar la retención de Nitrógeno y aumentar la masa muscular durante el entrenamiento con pesas.
- Para prevenir el catabolismo proteico durante los esfuerzos prolongado.
- Para prevenir la “anemia del deportista”, que se ha atribuido a un aumento de la síntesis muscular a costa de la hemoglobina sanguínea, durante las primeras etapas del entrenamiento físico.
- Para fomentar una mayor síntesis de Hemoglobina, Mioglobina, Enzimas oxidativas y Mitocondrias, durante el entrenamiento aeróbico.

Para conseguir un estado anabólico positivo, se aconseja tomar proteínas de una forma regular y repartida a lo largo del día. Los suplementos proteicos dietéticos, al no contener grasa, representan una opción interesante a tener en cuenta para los deportistas que, con unas necesidades mayores, necesitan controlar el peso. Por otro lado, si la dieta es inadecuada, el suplemento proteico asegura un consumo de proteínas correcto.

13.3.2 Aminoácidos ramificados

Algunos aminoácidos se biosintetizan en el organismo y otros se ingieren a través de una dieta adecuada. Juegan un papel muy importante en la síntesis de proteínas. Parece ser que mejoran el rendimiento físico y mental en los deportes de resistencia.

Desde hace ya algunos años, la suplementación con aminoácidos individuales se ha convertido en una práctica habitual y muy extendida entre los deportistas. Los objetivos de esta suplementación son:

- Estimular la liberación de hormona del crecimiento (Arginina, Ornitina, Triptófano), que promueve el desarrollo muscular.
- Estimular la liberación de Insulina (Arginina, Ornitina).
- Aportar una fuente de energía adicional para el músculo en ejercicio.
- Prevenir la fatiga (Aspartato, Aminoácidos ramificados, Triptófano).
- Reducir la inmunosupresión asociada al ejercicio extremo (Glutamina).
- Aumentar la concentración intramuscular de ATP y PCr (Glicina).

No obstante, conviene tener en cuenta que el metabolismo de los aminoácidos es muy complejo, ya que se pueden transformar en compuestos diferentes, además de influir en la transmisión del impulso nervioso y en la secreción de diferentes hormonas. La sobrecarga de un sólo aminoácido puede provocar desequilibrios nutricionales, al disminuir la absorción de otros.

Uno de los suplementos más utilizados es la combinación de los aminoácidos ramificados (AAR), es decir, Leucina, Isoleucina y Valina, que poseen un compuesto alifático no lineal (su nombre proviene de esta característica ramificada).

Por otro lado, también se ha estudiado el papel que juegan los AAR en la neoglucogénesis, protegiendo al resto de los aminoácidos de la degradación, por lo que ejercerían una función anabólica importante, aumentando la síntesis proteica en el músculo.

13.3.3 Taurina

La Taurina se halla de forma natural en algunos alimentos y en el organismo, donde se produce a partir de los aminoácidos Metionina y Cisteína. Se conjuga con los ácidos biliares Cólico y Quenodeoxicólico para formar las sales Tauroquenodeoxicolato y Taurocolato de Sodio, implicadas en numerosos fenómenos fisiológicos, como son la inhibición de neurotransmisores, la estabilización de las membranas celulares y del pH intracelular, la regulación del tejido adiposo y la homeostasis del Calcio. A diferencia de la Glutamina, no se incorpora a las proteínas musculares. Es el segundo aminoácido libre más abundante del músculo, corazón, plaquetas y sistema nervioso en desarrollo.

Entre sus funciones más importantes se encuentran su capacidad para atrapar moléculas prooxidantes (función antioxidante), su papel como mensajero químico del sistema nervioso, y como regulador del equilibrio del agua y de la sal (osmorregulación) ya que actúa aumentando el volumen celular a través del control sobre el flujo iónico. Este hecho influye positivamente en los procesos anabólicos.

La Taurina se encuentra en mayor cantidad en carnes, pescados y mariscos, así como en la leche humana.

Este aminoácido participa en funciones importantes, por lo que su deficiencia teóricamente podría conducir a distintos cuadros clínicos

y metabólicos, con trastornos para la salud. Se ha especulado que los vegetarianos están expuestos a un mayor riesgo con respecto a los omnívoros, ya que no consumen los alimentos ricos en esta sustancia.

Su teórica utilidad para la persona que realiza ejercicio físico radica en tres acciones de la Taurina que ayudarían a incrementar el rendimiento deportivo:

- Favorecer un aumento de las reservas hepáticas de Hidratos de Carbono.
- Poder antioxidante.
- Capacidad para producir una disminución de las lesiones musculares.

También, dentro de su acción ergogénica, es posible que mejore la función cardíaca durante el ejercicio. A su vez, estudios recientes han demostrado sus efectos beneficiosos en el aumento de la fuerza sub-máxima. También se ha observado que la Taurina resulta útil en la disminución de la degradación del Ácido Hialurónico, lo que produce un efecto protector en las articulaciones.

Alford (2001) realizó un estudio sobre los efectos de una bebida energética rica en Taurina, Cafeína y Glucuronolactona, y encontró una cierta mejoría en el rendimiento psicomotriz (tiempo de reacción, concentración y memoria), así como de la resistencia aeróbica y anaeróbica testada en cicloergómetro en el grupo que tomó esta bebida, frente al grupo de control. Al haber una interacción entre esos tres componentes, no se sabe cuánto protagonismo posee la Taurina en estos resultados.

Por otro lado se sabe que el ejercicio intenso y el estrés pueden provocar una disminución de los niveles de Taurina en el organismo. También se ha comprobado que la excreción de Taurina por orina aumenta después de una actividad física intensa o una competición. En este contexto parece que, en determinadas circunstancias, entre las que se encuentran la realización de esfuerzo físico intenso, la taurina podría considerarse como un aminoácido condicionalmente esencial y contemplarse la posibilidad de su suplementación.

13.4 Componentes de los alimentos y suplementos utilizados para mejorar la recuperación tras el ejercicio

13.4.1 Hidratos de Carbono

Al finalizar el entrenamiento o la competición la ingesta de Hidratos de Carbono (HC) aporta efectos muy positivos para la recuperación, por lo que resulta fundamental su consumo en el momento adecuado y en las cantidades correctas.

Las reservas de HC se agotan entre la hora y media y las dos horas posteriores a la realización de ejercicio físico intenso, por lo que la repleción de los depósitos de Glucógeno es un objetivo primordial al terminar la ejecución de la actividad.

Un factor fundamental para que el reaprovisionamiento sea óptimo es el tiempo que transcurre desde la finalización del ejercicio hasta la ingestión de los HC: cuanto antes mejor, ya que el músculo muestra su máxima avidez por HC durante las dos horas posteriores al término de la actividad, acelerándose de esta manera la recuperación de los depósitos. Esto resulta primordial para los deportistas que deben entrenar o competir al día siguiente de un gran esfuerzo.

La cantidad óptima depende de la intensidad y duración del ejercicio. En términos generales, se recomiendan entre 40-60 g. nada más finalizar el ejercicio, y repetir esa misma cantidad cada dos horas, respetando el descanso nocturno. La cena debe ser rica en HC. El aporte total en 24 horas debe suponer aproximadamente 10 g. de HC por Kg. de peso corporal o 600 g. en total durante las primeras 24 horas. Los Carbohidratos a ingerir deben tener un índice glucémico alto. Entre las comidas adecuadas se incluyen pasta, fideos, arroz, patata cocida o asada, evitando en lo posible los alimentos grasos. Las bebidas especialmente diseñadas para deportistas, con HC y sales, están particularmente recomendadas, sobre todo en las dos horas posteriores al fin del ejercicio, ya que en esos momentos la hidratación adecuada también es fundamental.

13.4.2 Glutamina

La Glutamina es la amida del ácido glutámico. Se trata del aminoácido no esencial más abundante del organismo. En situaciones de gran estrés (enfermedades infecciosas, grandes intervenciones quirúrgicas, traumas, ejercicio físico muy intenso, etc.) se llega a considerar “condicionalmente

esencial”, ya que sus necesidades aumentan muy por encima de la capacidad biosintética del organismo.

Este aminoácido se encuentra en alimentos con alto contenido proteico, como los productos lácteos (sobre todo el queso), carnes, soja y frutos secos (almendras y cacahuetes).

Una de las funciones principales de la Glutamina es la de restablecer el glucógeno muscular una vez que éste se ha agotado tras el ejercicio, ya que estimula la enzima Glicógeno Sintasa. Es el aminoácido con mayor capacidad de generar glucosa y glucógeno a nivel hepático, lo cual es de gran importancia en el proceso de recuperación posterior al ejercicio, y cobra mucha relevancia en las modalidades deportivas de resistencia al favorecer la producción de glucógeno muscular.

Este aminoácido también estimula la producción de hormona de crecimiento y es una sustancia esencial para mantener la actividad antioxidante de todas las células del organismo.

La Glutamina sirve de sustrato energético a macrófagos y linfocitos. Las células que consumen más Glutamina son las del sistema inmunitario, las del intestino delgado y las renales.

Existen estudios que demuestran que la concentración baja de Glutamina en plasma es un parámetro que puede servir para diagnosticar sobreentrenamiento, y la normalización de su cifra puede usarse como medida de recuperación del estrés producido por el ejercicio físico. Parece que los niveles bajos de Glutamina en sangre podrían ser la causa de las alteraciones del sistema inmune (inmunodepresión) presentes en deportistas sometidos a entrenamientos intensos.

Los deportistas toman Glutamina por dos razones:

- Para mejorar la recuperación tras el ejercicio.
- Para aumentar su resistencia a las infecciones.

Aunque la ingesta de Glutamina puede incrementarse aumentando el consumo de alimentos ricos en ella, muchas veces esto supone un exceso de calorías que no es conveniente para algunos deportistas. Por eso el uso de suplementos puede estar indicado en estos casos.

Las dosis utilizadas son de 30-40 mg. por Kg. de peso y día, por vía oral, repartidos en dos tomas: la hora previa al ejercicio y dentro de las dos horas posteriores a la finalización de la actividad deportiva, con lo que se frena la degradación proteica, se facilita la síntesis de proteínas musculares y se maximiza la restauración de glucógeno muscular.

13.4.3 Antioxidantes

El deportista puede estar sometido a sesiones de entrenamiento muy intensas y agotadoras que le llevan a una situación de estrés mantenido, traduciéndose esto en un estado de oxidación continua. El aumento del consumo de oxígeno que acompaña a la realización de ejercicio genera una cantidad excesiva de radicales libres que producen fatiga crónica, lo que puede contribuir a la producción de lesiones musculares.

Los antioxidantes son sustancias que protegen frente al daño y las alteraciones que causan los radicales libres. Para conseguir este objetivo hay dos clases de mecanismos defensivos antioxidantes que trabajan juntos en la célula muscular: un sistema enzimático endógeno (como la Súper Oxido Dismutasa o SOD y las Catalasas) y antioxidantes exógenos presentes en numerosos alimentos (Vitaminas C, E, Beta Carotenos, Ubiquinonas y Polifenoles, entre otros).

Un nivel alto de entrenamiento también supone una mayor capacidad de estímulo de los antioxidantes endógenos. Por otro lado, hay evidencias de que la realización de ejercicio de forma regular mejora la reserva de antioxidantes exógenos.

La Vitamina C es uno de los antioxidantes por excelencia. Dentro de sus funciones principales se encuentran la de mejorar la absorción del Hierro, ayudar en el desarrollo de las estructuras óseas, favorecer el crecimiento del tejido conectivo normal e intervenir en la producción del Colágeno y en la Metabolización de las grasas. Mediante un potente poder antioxidante ayuda a neutralizar los radicales libres generados por una práctica deportiva intensa y duradera. Su aporte exógeno no mejora el rendimiento deportivo pero favorece la absorción de otras sustancias.

La Vitamina E forma parte del grupo de las vitaminas liposolubles y es capaz de limitar la oxidación del Colesterol y su depósito en las paredes arteriales, y disminuir el riesgo de aterosclerosis. Tiene también un potente efecto antioxidante, protegiendo las membranas celulares. No hay evidencias de que exista correlación entre el daño de las células musculares durante el ejercicio y los niveles plasmáticos de Vitamina E.

13.5 Bebidas con hidratos de carbono y electrolitos para optimizar el rendimiento

El Comité Científico de la Alimentación Humana (CCAH) en su ya citado informe, hizo unas recomendaciones muy precisas sobre la composición de las bebidas para tomar durante la práctica deportiva:

- Energía: no menos de 80 Kcal. y no más de 350 Kcal. por litro. Al menos el 75% de las calorías provendrán de HC caracterizados por un alto índice glucémico (Glucosa, Sacarosa, Maltodextrinas).
- Hidratos de Carbono: no más de un 9% de HC (90 g. por litro).
- Sodio: no menos de 460 mg. de Na⁺ por litro (20 mmol/l) y no más de 1150 mg. de Na⁺ por litro (50 mmol/l).
- Osmolalidad: entre 200-330 mOsm/Kg. de agua.

El CCAH abogó porque el término isotónico se reserve a las bebidas cuya osmolalidad esté comprendida entre 270-330 mOsm/Kg. de agua. Las bebidas ligeramente hipotónicas, de osmolalidad 200-270 mOsm/Kg., fueron también recomendadas. Por debajo de 200 mOsm/Kg. son claramente hipotónicas, y por encima de 330 se consideran hipertónicas.

Tanto la adecuada osmolalidad de la bebida como su correcta concentración en HC son factores claves para un vaciado gástrico rápido y una absorción óptima. El documento de consenso del grupo de trabajo sobre nutrición de la Federación Española de Medicina del Deporte de 2008 ha refrendado estas características para la composición de dichas bebidas y aconseja, además, utilizar mezclas de Hidratos de Carbono. En el caso de las bebidas de rehidratación post-esfuerzo recomienda ir a los niveles altos, tanto de energía (300-350 Kcal./l.) como de Sodio (40-50 mmol/l.), y que contengan algo de Potasio (2-6 mmol/l.).

Se puede afirmar que el consumo, de forma correcta, de una bebida especialmente diseñada para el deportista produce beneficios superiores al consumo de agua, prácticamente en todos los casos.

- Alford, C. ; Cox, H. ; Wescott, R. The effects of red bull energy drink on human performance and mood. *Amino acids*. 21(2): 139-150, 2001.
- American College of Sports Medicine. Position Stands. Exercise and fluid replacement. [Internet] <http://www.acsm-msse.org/pt/pt-core/template-journal/msse/media/0207.pdf>. (31/05/08) .
- American College of Sports Medicine. Exercise and Fluid Replacement. Special Communications. *Med Sci Sports Med*. 39 (2): 377-390, 2007.
- Bemben M.G. & Lamont, H. S. Creatine supplementation and exercise performance: recent findings. *Sports Med*. 35(2): 107-125, 2005.
- BOE núm. 308. 25 de diciembre 1992 : Real Decreto 1809/1991 de 13 de diciembre, por la que se modifica la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de preparados alimenticios para regímenes dietéticos y/o especiales.
- Blomstrand, E. ; Saltin, B. BCAA intake affects protein metabolism in muscle after but not during exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 281(2): 365-374, 2001.
- Borsheim, E. ; Aarsland, A. ; Wolfe, RR. Effect of an amino acid, protein, and carbohydrate mixture on net muscle protein balance after resistance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 14(3): 255-271, 2004.
- Campbell, C. ; Prince, D. ; Braun, M. ; Applegate, E. ; Casazza, G.A. Carbohydrate-supplement form and exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 18(2): 179-190, 2008.
- Currell, K.; Jeukendrup, A.E. Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med Sci Sports Exerc*. 40(2): 275-281, 2008.
- Cha, Y.S. Effects of L-carnitine on obesity, diabetes, and as an ergogenic aid. *Asia Pac J Clin Nutr*. 17 Suppl. (1): 306-308, 2008.
- Gómez-Merino, D. ; Bequet, F. ; Berthelot, M. ; Riverain, S. ; Chennaoui, M. ; Guezennec, C.Y. Evidence that the branched-chain amino acid L-valine prevents exercise-induced release of 5-HT in rat hippocampus. *Int J Sports Med*. 22 (5): 317-322, 2001.
- González Gallego, J. ; Sánchez Collado, P. ; Mataix Verdú, J. *Nutrición en el deporte. Ayudas ergogénicas y dopaje*. Diaz de Santos, 2006.
- Hargreaves, M.H ; Snow, R. Amino acids and endurance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*.11(1): 133-145, 2001.
- Jeukendrup, A. ; Gleeson, M. *Sport nutrition: an introduction to energy production and performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004.
- Juhn, M.S. Popular sports supplements and ergogenic aids. *Sports Med*. 33(12): 921-939, 2003.
- Keisler, B.D. ; Armsey, T.D II. Caffeine as an ergogenic aid. *Curr Sports Med Rep*. 5 (4): 215-219, 2006.
- Magkos, F. ; Kavouras, S.A. Caffeine and ephedrine: physiological, metabolic and performance-enhancing effects. *Sports Med*. 34 (13): 871-889, 2004.
- Manninen, A.H. Hyperinsulinaemia, hyperaminoacidaemia and post-exercise muscle anabolism: the search for the optimal recovery drink. *Br J Sports Med*. 40 (11): 900-905, 2006.

- Maughan, R.J ; Fenn, C.E. ; Leiper, J.B. Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity. *Appl Physiol Occup Physiol*. 58 (5):481-486, 1989.
- Maughan, R.J. ; King, D.S. ; Lea, T. Dietary supplements. *J Sports Sci*. 22 (1): 95-113, 2004.
- Nemet, D. ; Wolach B. ; Eliakim, A. Proteins and amino acid supplementation in sports: are they truly necessary? *Isr Med Assoc J*. 7 (5): 328-332, 2005.
- Palacios, N. ; Bonafonte, L. ; Manonelles, P. ; Manuz, B. ; Villegas, J.A. Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición de líquidos. *Arch. Med. deporte*. 25 (126) : 245-258, 2008.
- Palacios, N.; Iglesias, E.; Úbeda, N. Efecto de la cafeína sobre el rendimiento deportivo. *Med Clin (Barc)*. 131 (19): 751-756, 2008.
- Palacios, N. ; Montalvo, Z. ; Ribas, A. *Guía de alimentos dietéticos adaptados a un intenso desgaste muscular*. Nutrition and Santé Iberia, S.L., 2008.
- Patterson, S.D. ; Gray, S.C. Carbohydrate-gel supplementation and endurance performance during intermittent high-intensity shuttle running. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 17 (5): 445-455, 2007.
- Racette, S.B. Creatine supplementation and athletic performance. *J Orthop Sports Phys Ther*. 33 (10): 615-621, 2003.
- Scientific Committee on Food. Report of the Scientific Committee on Food on composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen. Bruselas: Comisión Europea, 2001. [Internet] http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/out64_en.pdf (20/03/2006).
- Schroder, H. ; Terrados, N. ; Tramullas, A. Risk assessment of the potential side effects of long-term creatine supplementation in team sport athletes. *Eur J Nutr*. 44 (4): 255-261, 2005.
- Terjung, R.L. ; Clarkson, P. ; Eichner, E.R. ; Greenhaff, P.L. ; Hespel, P.J. ; Israel R.G. ; Kraemer, W.J. Meyer, R.A. ; Spriet, L.L. ; Tarnopolsky, M.A. ; Wagenmakers, A.J. ; Williams, M.H. American College of Sports Medicine roundtable. The physiological and health effects of oral creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc*. 32 (3):706-717, 2000.
- Wagenmakers, A.J. Amino acid supplements to improve athletic performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2 (6): 539-544, 1999.
- Wyss, M. ; Kaddurah-Daouk, R. Creatine and creatinine metabolism. *Physiol Rev*. 80 (3): 1107-1213, 2000.

14. PREVENCIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE LA FATIGA RESIDUAL Y DEL SOBREENTRENAMIENTO DEPORTIVO. UNA NUEVA DEFINICIÓN: FATIGA SUBAGUDA SEVERA

El concepto de “Fatiga” en el deporte se refiere a la imposibilidad física, orgánica y psíquica para continuar un trabajo al mismo ritmo que se venía realizando y que resulta reversible con el reposo (a diferencia de otras condiciones patológicas). Es evidente que el grado de fatiga soportado presenta diferencias entre los deportistas y depende en gran medida del grado de entrenamiento, estado de salud, de la condición física, de la reserva energética y motivación de cada deportista.

Una definición interesante para el ámbito deportivo: La fatiga es un proceso complejo de múltiples factores. Es la incapacidad para mantener la carga de trabajo a la velocidad de competición o con efectividad en las acciones deportivas.

Los cambios morfo-funcionales provocados por el entrenamiento permiten una mayor resistencia a la fatiga. Los síntomas de la fatiga guardan relación con la incapacidad para suministrar la energía.

El entrenamiento sistemático bien diseñado consigue mejorar las vías de abastecimiento e incrementa las reservas energéticas musculares, asegurando la disponibilidad de energía para los diferentes niveles de intensidad y duración, sea aeróbico, anaeróbico láctico o anaeróbico aláctico.

Los principales mecanismos desencadenantes de la fatiga son:

- Depleción de sustratos: Glucógeno.
- Aumento en la captación de aminoácidos ramificados.
- Aumento de la concentración de metabolitos.
- Exceso de lactato. Aumento de los hidrogeniones e incremento de amonio, con un descenso del pH (acidosis).
- Alteraciones hidroelectrolíticas y de las enzimas kinasas.
- Acumulación de radicales libres de oxidación (RLO) y depresión de linfocitos T.
- La acción crónica de este cuadro produce un desequilibrio hormonal a favor de los procesos catabólicos.

14.1 Tipos de fatiga según el lugar de aparición

Según el lugar de aparición la fatiga puede ser Central o Periférica.

14.1.1 Fatiga Central

Se debe a cambios en algunos o varios de los escalones que van desde el cerebro hasta la fibra muscular. Se estima que los nervios no se fatigan, pero sí la sinapsis, fundamentalmente por el consumo de neurotransmisor químico, en este caso la acetilcolina, que se secretaría a un ritmo menor del necesario e impediría la llegada del impulso nervioso (orden de contracción) a la placa motora.

La consecuencia es que el músculo no responde al estímulo y deja de contraerse.

14.1.2 Fatiga Periférica o Fatiga Muscular

Es un estado transitorio y de duración variable en el que existe una deficiencia en la capacidad de trabajo de la fibra muscular debida casi siempre a un exceso previo de actividad física o a la realización de un esfuerzo extenuante.

Generalmente se acompaña de una caída del pH por acumulación de lactato con el incremento de hidrogeniones y en ocasiones por incremento del amoniaco.

Lo que produce deficiencia en la contracción muscular debido a fallos en el deslizamiento de la actina sobre la miosina.

14.2 Tipos de fatiga según su duración

Si se considera la duración de la fatiga, generalmente se describen tres tipos:

- Fatiga Aguda
- Fatiga Subaguda
- Fatiga Crónica

14.2.1 Fatiga Aguda

Se produce durante una sesión de entrenamiento o en la competición, pudiendo ser local o global.

Es un sistema de protección orgánico ante el daño ocasionado por la propia contracción muscular que, generalmente, está acompañada de lesión de tejido muscular y por cambios metabólicos, o por una sobrecarga extrema del sistema cardiorrespiratorio y endocrino-metabólico.

14.2.2 Fatiga Subaguda

También llamada “sobrecarga fisiológica”, aparece después de uno o varios microciclos intensos (microciclos de choque), en los que hay poca recuperación y se acumula fatiga residual.

Bien planificados, estos microciclos tienen como objetivo alcanzar la supercompensación que es lo que ayuda a mejorar, además de otras variables, el rendimiento del deportista.

Un entrenamiento mal planificado, que no se acompañe de una buena recuperación, nos puede conducir a cuadros patológicos por sobrecarga como pueden ser lesiones del aparato musculo-esquelético.

Si los episodios de fatiga subaguda se prolongan en el tiempo y no se hace una recuperación adecuadamente, se puede dar origen a la fatiga crónica.

14.2.3 Fatiga Crónica

Este tipo de fatiga puede presentarse por acúmulo de la carga residual durante la combinación de dos mesociclos, ó después de varios microciclos, cuando no existe una buena relación entre la carga del entrenamiento de la competición, y la recuperación del deportista.

Produce una gran afectación sistémica por deterioro orgánico global como consecuencia de las graves alteraciones patológicas que puede llegar a ocasionar. Se diferencia de la Fatiga Subaguda por sus síntomas, la duración, la gravedad de los mismos y el tiempo que requiere para su recuperación.

La fatiga crónica es más frecuente en las disciplinas de resistencia, en las que aparecen cuadros relacionados con el aparato cardiovascular y/o el sistema endocrino-metabólico, y en las disciplinas de equipo y de juegos con pelota en las que se afecta fundamentalmente el sistema musculo-esquelético.

Las causas principales de la Fatiga Crónica son:

- Inadecuada relación trabajo/descanso durante el entrenamiento deportivo y competiciones, por acumulación de fatiga residual durante varios microciclos.
- Inadecuado programa de alimentación, en cuanto a cantidad y calidad de los macronutrientes y micronutrientes, así como una inadecuada reposición hidromineral.
- Incumplimiento del principio de individualización del entrenamiento, así como no disponer de un programa personalizado de recuperación biológica y psicológica para afrontar el entrenamiento y el sistema de competición.
- Ausencia de control médico para la valoración funcional y del estado de salud del deportista a lo largo de la temporada.

14.3 Manifestaciones de la Fatiga Crónica y estados no saludables

El síndrome de sobreentrenamiento deportivo es también conocido como fatiga crónica u *over training*, el cual se identifica como un conjunto de signos y síntomas que se pueden manifestar de dos formas diferentes: la principal, con predominio del sistema nervioso simpático (SNS) y otra con predominio del sistema nervioso parasimpático (SNP).

Diferentes autores valoran que el del SNP pudiera ser parte del mismo proceso del SNS con el deterioro y agotamiento total de la respuesta neuroendocrina, predominando finalmente el cuadro parasimpático. El síndrome de sobreentrenamiento simpático es el más conocido, el más estudiado y el más frecuente.

Las manifestaciones principales del síndrome de sobreentrenamiento del SNS son: generales, psicológicas, bioquímicas, clínicas, así como sobre el rendimiento deportivo.

Estos cuadros se pueden expresar como consecuencia de que predominen las siguientes causas:

- Si predomina el estrés oxidativo metabólico, con acumulación de radicales libres oxidativos, por mala relación carga/recuperación, origina un daño del sistema musculoesquelético con predominio de lesiones en partes blandas como consecuencia de los procesos inflamatorios secundarios al sobreuso. Se producen lesiones por sobrecarga en más del 90% de los casos de lesiones del aparato locomotor.
- Si hay inmunodepresión, con enfermedades infecciosas recurrentes.
- También aparece asociado a problemas endocrino-metabólicos, en los que predominan los procesos catabólicos.
- Está íntimamente ligada a la "tríada de la deportista", que se manifiesta por irregularidad en la alimentación, irregularidad menstrual y osteoporosis. Más frecuente en disciplinas de resistencia, coordinación, deportes de combate y halterofilia.

Todas estas causas producen afectación de la salud, y disminución de las capacidades físicas y del rendimiento deportivo, tal como se describe a continuación:

14.3.1 Rendimiento deportivo en la competición principal relacionado con el sobreentrenamiento

Disminuye de manera importante el estado de forma deportiva para la competición.

Puede verse afectado entre un 30% y un 70% de su potencial deportivo.

Si se realizaran los controles sistemáticos del entrenamiento, habría tiempo para la remodelación del entrenamiento y de la recuperación de forma personalizada.

14.3.2 Fatiga Crónica y lesiones por sobreuso

Sin duda alguna, las lesiones músculo-esqueléticas por sobreuso son la principal manifestación de la fatiga crónica a nivel local por falta de recuperación. En muchas ocasiones no se consideran como parte del sobreentrenamiento, cuando en realidad si lo son, manifestándose a nivel local en las áreas que más trabajan.

Estas lesiones por sobreuso son una respuesta del propio organismo ante tanta agresión. Puede ser un alerta antes de que se instale en su totalidad el síndrome de sobreentrenamiento deportivo.

14.3.3 Prevención del Síndrome de Sobreentrenamiento Deportivo u *Over Training*

Como mecanismos para la prevención de este síndrome hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Adecuada relación entre la carga de entrenamiento y competición con respecto a la recuperación. Para ello es necesario hacer una buena planificación y control de las cargas de entrenamiento, con criterios de individualización del entrenamiento y sus correspondientes períodos de recuperación-descanso.
- Importancia de la recuperación individual mediante una

nutrición e hidratación saludable, prevención músculo-esquelética, apoyo psicológico y utilización de la resistencia regenerativa.

- Reconocimientos médicos completos y parciales, acompañados de tests de campo a lo largo de la temporada con el objetivo de conocer y monitorizar la intensidad, el volumen del entrenamiento y el nivel de salud del deportista en cada fase de la temporada. Para lograr este fin hay que incluir estudios de marcadores biológicos que permiten diagnosticar preventivamente la fatiga crónica. Los marcadores biológicos propuestos para el diagnóstico preventivo de Fatiga Crónica son:

- Urea
- Creatín Quinasa (CPK)
- Cortisol
- Testosterona
- Índice Cortisol/Testosterona
- Ferritina
- Otros marcadores: enzimas hepáticas, inmunomoduladores (CD4 y CD6).

Esta información se puede relacionar con otras variables hemoquímicas como la hemoglobina, hierro, proteína C reactiva, entre otras.

Para hacer una valoración adecuada hay que extraer la muestra a primera hora de la mañana, en ayunas. Estas variables nos aportan información de carácter preventivo antes de que aparezcan signos o síntomas clínicos, alteraciones funcionales y/o disminuciones del rendimiento deportivo. Esta información se integra con los hallazgos de los diferentes reconocimientos médicos completos o parciales del Centro de Medicina del Deporte (y de los tests de campo) y así podemos actuar preventivamente, antes de que se manifieste la Fatiga Crónica.

14.4 Estudio de casos de diagnóstico preventivo de la acumulación de fatiga residual y del sobreentrenamiento. Monitorización del entrenamiento a lo largo del primer Macro ciclo de una temporada

Como ejemplificación de diagnóstico preventivo de la fatiga residual y sobreentrenamiento, a continuación se exponen los casos de dos deportistas de piragüismo.

En ambos casos, la planificación del entrenamiento en el primer Macro ciclo era muy similar, lógicamente con sus diferencias en la cantidad de la carga del entrenamiento.

Para ambos deportistas, este primer Macro ciclo comprendía 26 semanas: las 13 primeras de Preparación General (Básico), 10 de Preparación Especial-Específica y las 3 finales de Competición.

Se realizaron estudios endocrino-metabólicos en 6-7 ocasiones, generalmente al día siguiente de actividades intensas. Se relacionaron las etapas de entrenamiento y los estudios de laboratorio y de campo, culminando el último estudio con la competición fundamental del Macro ciclo.

14.4.1 El caso del Piragüista JSG (K1)

En la *Tabla 1* se pueden ver los valores de referencia de las cinco variables utilizadas, correspondientes a los tests efectuados al piragüista JSG.

Inicialmente se aprecia que los controles endocrino-metabólicos fueron adecuados, solamente en el tercer control correspondiente al 16º micro ciclo, se observó una sobrecarga con cierta repercusión debido a la disminución de Testosterona e incremento de Cortisol, del índice Cortisol/Testosterona y de la Urea. Aunque no era muy alarmante, se consideró un aviso de que el deportista estaba en fase de sobrecarga fisiológica y que, si esa fatiga residual no desaparecía, podía llevarnos a una Fatiga Crónica antes de culminar el Macro ciclo.

Tabla 1. Deportista: JSG (Kayak). Control del Macro ciclo I: 26 semanas. Estudios Endocrino-Metabólicos.

Rango de Referencia	I Macro ciclo	CRK 20-250 U/L	Urea 20-57 mg/L	Ferritina 30-300 ng/ml	Testosterona 1,5-12 ng/ml	Cortisol 5-25 ug/dl	Índice Cortisol / Testosterona
T E S T S	Microciclos / Tipos						
1	3/MD	80	30	120	6,4	12	1,88
2	11/MCh	260	38	104	6,2	14	2,58
3	16/MCh	355	48	88	4,4	22	5,0
4	19/MR	200	30	118	6,6	13	1,97
5	21/MCh	220	32	110	6,2	14	2,25
6	26/MC*	310	40	110	6,4	14	2,19

Microciclos: (MD) de Desarrollo, (MCh) de Choque, (MR) de Recuperación, (MC) de Competición
Microciclos de choque: 9-10; 15-16-17; 20-21.

Microciclos 3 y 19 coinciden con Reconocimientos Médicos completos (RMC)
26/MC*. Resultado en competición= 2 Oros.

Al poder tener la información al final de la semana 16, siendo la segunda semana seguida de tres microciclos de choque o de impacto, nos permitió mejorar los mecanismos de recuperación del deportista y modelar de forma óptima la planificación del entrenamiento. Con esa información, el colectivo técnico hizo los ajustes de forma personalizada sobre la cantidad y calidad de las cargas del entrenamiento y de la recuperación que necesitaba.

En el resto de los controles endocrino-metabólicos, así como en los controles de lactato en el pantano, y los dos estudios de ergoespirometría en el Macro ciclo (Tabla 2), nos permitió pronosticar un buen resultado en la competición. Efectivamente, el piragüista JSG obtuvo dos medallas de oro en el K1 (500 y 1.000 m.).

Como se puede observar en la Tabla 1, en el último control endocrino-metabólico realizado en el día posterior a la última competición, su cuadro fisiológico era completamente anabólico, pese al esfuerzo realizado. Eso se logró por la correcta monitorización a lo largo del Macro ciclo.

En la Tabla 2 se observa como, a medida que había avanzado el Macro ciclo, había mejorado el consumo máximo de oxígeno relativo (VO_2 Máx./ Kg), con cierta mejoría del Umbral Anaeróbico (%UA). A su vez con mejoría en la producción de lactato, que también se había demostrado en los diferentes tests de carácter máximo en el pantano. En la última competición se le obtuvo lactato al piragüista, observándose que la producción de lactato era óptima.

Tabla 2. Resultados de la ergoespirometría (cinta) en los microciclos 3 y 19, valores de lactato, así como los tiempos en la competición final para la puesta en forma al final del primer Macro ciclo.

I Macro ciclo 26 Microciclos	VO_2 Máx./ Kg. ml. O_2 / Kg./min.	% UA	Producción de Lactato: Mmol/ L / minuto de mayor producción
3/MD	62,2	88,9	15,9 / 5'
19/MR	65,5	89,3	16,8 / 7'
26/MC	–	–	18,2 / 7' *

MD: microciclo de desarrollo. MR: microciclo de recuperación. MC: microciclo de competición.

* En los 1.000 m.

Resultados en la competición en el microciclo 26:

K1 500 m. = 1'37".5 (Record Personal / 1^{er} puesto)

K1 1000 m. = 3'27".6 (Record Personal / 1^{er} puesto)

14.4.2 Intervención e individualización de la recuperación en el piragüista MTA

Como se ha mencionado anteriormente, el programa de entrenamiento de este piragüista (MTA) era muy similar al deportista anterior -en cuanto a la planificación de los objetivos de los diferentes microciclos-, con sus diferencias en la cantidad de la carga del entrenamiento.

En la Tabla 3 observamos que en el tercer control del piragüista MTA, realizado en la semana 16, se detectó que había una elevada acumulación de fatiga residual, que podía ser el inicio de la transformación de fatiga subaguda a fatiga crónica. Podemos apreciar claramente la caída de la Testosterona y el incremento del Cortisol, del índice Cortisol/Testosterona y de la Urea, así como una disminución de la Ferritina y un incremento de la Creatíninasa.

Tabla 3. Deportista: MTA (Kayak). Control del Macro ciclo I: 26 semanas. Estudios Endocrino-Metabólicos.

Rango de Referencia	I Macro ciclo	CRK 20-250 U/L	Urea 20-57 mg/L	Ferritina 30-300 ng/ml	Testosterona 1,5-12 ng/ml	Cortisol 5-25 ug/dl	Índice Cortisol / Testosterona
T E S T S	Microciclos / Tipos						
1	3/MD	92	33	135	6,3	14	2,22
2	11/MCh	292	38	120	5,8	19	3,27
3	16/MCh	725	51	77	2,7	31	11,48
4	18/MR	428	44	80	3,4	22	6,47
5	19/MR	340	36	92	4,6	18	3,91
6	21/MCh	275	33	111	5,4	19	3,52
7	26/MC*	380	42	105	5,5	20	3,77

Microciclos: (MD) de Desarrollo, (MCh) de Choque, (MR) de Recuperación, (MC) de Competición
17/MCh se transformó en un MR. Ajustes individuales
26/MC*. Resultado en competición = 2 Bronces. K1 en 1000 m. y K2 en 1000 m.

Ésto nos llevó a decidir, con el entrenador, que el microciclo 17 (que era el último de tres microciclos de choque) se transformará en microciclo de recuperación, disminuyendo de forma notable las cargas del entrenamiento y mejorando la recuperación del deportista con una mejor calidad en la alimentación (con un mayor aporte de Hidratos de Carbono, y mejorando la reposición hidromineral).

Se tomaron las siguientes medidas:

- Disminución del volumen e intensidad del entrenamiento.
Incremento de la Resistencia Regenerativa (RR).
- Estructuración de una buena alimentación con el incremento en los Hidratos de Carbono y una mejor reposición hidromineral. Aporte de vitaminas-minerales, así como de glutamina.
- Recuperación del sistema músculo-esquelético.

En la semana 18 se estudió de nuevo y se observó que había mejorado mucho desde el punto de vista endocrino-metabólico, así como desde el punto de vista de salud, funcional y psicológico. Esta intervención le permitió la obtención de dos medallas en la competición fundamental de este primer Macro ciclo de la temporada (semana 26).

Se constató que el diagnóstico y la intervención efectuada, en esas semanas previas a la competición, fueron adecuadas.

14.5 Un nuevo diagnóstico: Fatiga Subaguda Severa por pérdida brusca de peso corporal

Se presenta en las disciplinas que compiten por categorías de peso: judo, lucha, boxeo, taekwondo, kárate; así como halterofilia, remo (categoría ligera), entre otros.

Se caracteriza por una disminución brusca del peso corporal de tres o más Kg. en menos de diez días, o bien de, aproximadamente ocho o más Kg. en un mes, previa a la competición más importante.

Es un problema muy serio y extendido, a nivel internacional, y que lamentablemente forma parte de la tradición de estas disciplinas deportivas, acarreando problemas de salud y disminución marcada del rendimiento deportivo en la competición para la que se preparan los deportistas.

Esta dinámica de disminuir bruscamente el peso corporal antes de las competiciones, supone serias consecuencias. A corto plazo, mientras está disminuyendo de peso, afecta al organismo del deportista ocasionando una disminución del rendimiento deportivo. A largo plazo, puede comprometer la vida deportiva y el rendimiento, así como la salud del deportista de una forma considerable, manifestándose con un elevado índice de lesiones músculo-esqueléticas por deshidratación muscular y por déficit de líquido sinovial en las articulaciones, así como otras manifestaciones clínicas por sobrecarga fisiológica que afectan al rendimiento deportivo y a la salud.

Consideramos que las federaciones deportivas internacionales de estas disciplinas, a través de sus comisiones médicas, deberían tomar acciones sobre estos problemas, para prevenir los efectos indeseables de estas prácticas tan extendidas.

14.5.1 Deportes en que se exige el peso corporal para la competición

A continuación presentamos (Tabla 4) una serie de disciplinas deportivas que necesitan tener determinado peso para competir, el momento en el que se realiza el control del mismo (previo a la competición) y su relación con el momento de inicio y desarrollo de la competición.

Tabla 4. Relación del control oficial de peso para la competición y cuando se compete.

Disciplinas	¿Cuándo se le realizan el control del peso para la competición?	Días de competición y en qué momento con respecto al control del peso de competición	Observaciones:
Lucha Olímpica* y Sambo, Taekwondo*, Karate*	El día antes de la competición por la tarde, sobre las 6 p.m.	Al día siguiente del control del peso. Compiten en un solo día.	Mayor repercusión en Lucha olímpica: libre y greco.
Judo*, Halterofilia *	El día de la competición, temprano por la mañana.	Compiten en ese mismo día.	En el Judo, generalmente, afecta más.
Boxeo*	El primer día del torneo y cada día que tenga que competir.	Cada día que compite Un combate diario. Mientras esté ganando hasta la final.	Los que tienen dificultades sufren durante varios días para lograr el peso.
Remo categoría peso ligero**	Se hace en cada día de competición.	Cada día que compiten.	

* Generalmente los deportistas con más dificultades son los de las categorías ligera y mediana.

** En eventos individuales (*single sculls*), peso máximo de 72,5 Kg. en hombres y de 59 Kg. en mujeres. En los barcos con más de un componente, se necesita un peso promedio de 70 Kg. en hombres y 57 Kg. en mujeres.

¿Cómo logran la disminución del peso corporal para la competición?

Fundamentalmente a expensas del peso magro y del agua corporal. Debemos recordar que el 60% del peso corporal y que el 70% del peso de los músculos es agua.

La pérdida del peso se logra en estos casos mediante:

- Deshidratación severa con un serio desequilibrio hidromineral debido a una restricción en exceso de agua y de bebidas isotónicas, acompañado también del uso de plásticos, chándal, saunas, etc.
- Dietas extremadamente restrictivas y mal equilibradas, provocando que un porcentaje importante de la pérdida de peso sea a expensas del tejido muscular.

El porcentaje mayor de la pérdida del peso corporal es a expensas de la deshidratación severa, que prácticamente causa el 80% de esta pérdida días antes de la competición.

Como consecuencia de esta pérdida brusca de peso corporal, a expensas del peso magro con un importante desequilibrio hidromineral por deshidratación severa, se produce una acusada disminución del rendimiento en la competición.

Como efecto inmediato se produce una gran afectación de la salud, acompañada de una marcada disminución del rendimiento por una disminución de las capacidades motoras y de las habilidades deportivas.

Posicionamiento de la Asociación Nacional Norteamericana de Entrenadores, con respecto a la pérdida de peso

Concuerdan que cuando el peso corporal se modifica menos del 1% de un día para otro, no reporta consecuencia alguna, pero cuando la modificación está entre un 1% y un 3% de la reducción del peso, ya se considera como una deshidratación mínima; del 3% al 5% una deshidratación moderada y más del 5% una deshidratación severa.

En deportes de categoría de peso es muy frecuente la aparición de problemas de este tipo, llegando incluso la aparición de deshidratación moderada y severa.

En las Tablas 5 y 6 presentamos algunos ejemplos elaborados teniendo en cuenta el peso corporal, el porcentaje a reducir antes de competir y su clasificación según el nivel de deshidratación.

En la Tabla 5 observamos tres ejemplos de deportistas en la categoría de -60 Kg. y el peso corporal que deben de bajar dos días antes del control del peso oficial para la competición. De esta forma se puede hacer su correlación con el nivel de deshidratación según la Asociación Nacional Norteamericana de Entrenadores. En el caso de los niveles moderados y severos el rendimiento deportivo se verá afectado.

Tabla 5. Diferentes niveles de deshidratación en la categoría de -60 Kg., en disciplinas como el judo, boxeo, lucha y kárate, en hombres.

Peso 2 días antes de la competición	Peso de competición	Disminución de peso / % de disminución	Nivel de deshidratación por la reducción de peso
61,0 Kg.	- 60 Kg.	1 Kg. / 1,7%	Ligera
62,0 Kg.	- 60 Kg.	2 Kg. / 3,2%	Moderada
63,5 Kg.	- 60 Kg.	3,5 Kg. / 5,2%	Severa

En la Tabla 6 analizamos cómo el disminuir 2,5 Kg. de peso corporal en diferentes categorías tendría una repercusión diferente en cuanto al nivel de deshidratación según la Asociación Nacional Norteamericana de Entrenadores. En esta ocasión, lógicamente, la disminución de la misma cantidad de peso afectará más a las categorías inferiores.

Tabla 6. Diferentes niveles de deshidratación disminuyendo 2,5 Kg. de peso en boxeadores de diferentes categorías (-48, -64 y -91 Kg.)

Peso 2 días antes de la competición	Peso de competición	Disminución de peso / % de disminución	Nivel de deshidratación por la reducción de peso
50,5 Kg.	- 48 Kg.	2,5 Kg. / 5,0%	Severa
66,5 Kg.	- 64 Kg.	2,5 Kg. / 3,8%	Moderada
93,5 Kg.	- 91 Kg.	2,5 Kg. / 2,7%	Ligera

Afinamiento o puesta a punto del atleta previo a la competición fundamental

Normalmente, en la alta competición, se disminuye la carga del entrenamiento -tanto en volumen como en intensidad-, entre los 7-10 días previos a la competición, para alcanzar la mejor forma deportiva.

Lamentablemente en los deportes que compiten por categoría de peso este período de puesta a punto coincide con el período en que los deportistas tienen que dar el peso y sufren alteraciones de salud, bajando su rendimiento deportivo, como consecuencia de la severa deshidratación e inadecuada restricción alimentaria.

Estudio de casos de Fatiga Subaguda Severa en boxeadores (Estudios de mayo de 2008)

A continuación presentamos algunos ejemplos de los problemas morfofuncionales registrados en diferentes deportistas, boxeadores, en los que se ha manifestado una afectación a la salud y a su rendimiento deportivo en la competición.

En la *Tabla 7* aparece un ejemplo de un deportista que compite en la categoría de -48 Kg. quien, para dar el peso de competición, altera de forma considerable sus variables antropométricas. En las tablas se objetiva claramente que, cuando se intenta aproximar al peso de competición, esta disminución se produce a expensas del peso magro. Este boxeador para lograr el peso tiene que competir con un IMC de 17,8 Kg./m², lo que se identifica como bajo peso, según la clasificación de la OMS.

Tabla 7. Estudio de la composición corporal de un deportista de boxeo: Categoría - 48 kg. Edad: 21, 7. Talla: 164, 3 cm. IMC=17,8

Índices	Fecha	21/2/07	6/7/07	18/3/08	4/4/08
Peso corporal (Kg.)		53,6	52,7	52,9	50,2
IMC kg/m ² actual		19,8	19,5	19,6	18,5
Peso magro (Kg.)		49,9	48,97	49,35	46,92
% Peso magro		93,06	92,94	93,30	93,48
Peso grasa (Kg.)		3,7	3,63	2,55	3,28
% grasa corporal *		6,94	7,06	6,70	6,52
Ind. AKS kg/m ³ **		1,12	1,10	1,11	1,06

* Yuhasz de 6 pliegues

**Ind. AKS= peso magro Kg./talla m³ x 10

En la *Tabla 8* aparecen algunos parámetros hematológicos, bioquímicos y del urianálisis sensiblemente alterados que se manifiestan por valores bajos de Testosterona y elevados de Cortisol, que son indicadores que predominan en el deportista como procesos catabólicos, por la drástica pérdida de peso a expensas del peso magro, con la correspondiente deshidratación y pérdida importante hidromineral.

Se observan también valores relativamente altos de Urea, debido a que el deportista está utilizando las proteínas como fuente energética, ya que tiene agotadas las reservas de Glucógeno y no tiene grasa corporal prácticamente para utilizar.

A pesar de que el nivel de entrenamiento en esta fase es de baja carga física, ya que se encuentra a solo tres días del inicio de la competición, existe un proceso inflamatorio general como consecuencia de valores elevados de CPK y Ferritina. Por otra parte se observa un nivel de deshidratación severa ($\geq 1,030$), con cierto compromiso renal agudo con los valores de Creatinina en el límite alto de normalidad, pero muy elevados si lo comparamos con su perfil normal.

Tabla 8. Estudio hemouímico de un deportista de Boxeo: Categoría - 48 Kg. Edad: 21,7. Talla: 164,3 cm. IMC =17,8

Valor normal	Fecha	21/2/07	6/7/07	18/3/08	4/4/08*
-	Peso Corporal Kg.	53,6	52,7	52,9	50,2
1,50 – 12 ng./ ml.	Testosterona	6,18	5,61	3,10	3,02
5,0 – 25,0 ug./ml.	Cortisol	13,8	20,3	17,2	23,1
-	Ind. Cortisol/ Test.	2,23	3,62	5,55	7,65
20 – 250 U / L	CPK	255	193	283	332
20 – 57 mg./dl	Urea	30,0	27,1	33,7	40,6
30,0 – 300,0 ng./ ml	Ferritina	69,23	69,0	73,0	109,0
60,0 – 175,0 ug/dl	Hierro	90,7	109,0	151,8	103,0
0,8 – 1,4 mg./dl	Creatinina	1,1	1,0	1,1	1,4
	Densidad de orina	1,015	1,025	$\geq 1,030$	$\geq 1,030$

* A tres días del pre-olímpico.

Otras alteraciones: aumentan TGP, TGO, bilirrubina total; disminuyen glucemia, triglicéridos, colesterol total.

En la *Tabla 9* comparamos las variables de los deportistas que presentaban dificultades con el peso, en este caso los púgiles de -48 y -69 Kg. donde se repiten los mismos problemas de la *Tabla 5*. El deportista de -91 Kg., que no presentaba problemas con el peso, evidentemente no presenta problemas hematológicos y bioquímicos, ni en sus valores de orina.

Tabla 9. Estudio comparativo realizado 3 días previos al Pre-Olímpico de Atenas (4 abril 08), en tres boxeadores de diferentes categorías.

Valor normal	Variables	Deportista - 48 Kg.	Deportista - 69 Kg.	Deportista - 91 Kg.
–	Peso actual Kg.	50,2 (+ 2,2)	69,1 (+ 0,1)	90,5
–	% reducción del peso en los últimos 5 días	3,5 % (52,0 Kg.)	3,1% (71,3 Kg.)	0% (90,5 kg)
1,50 – 12 ng./ml.	Testosterona	3,02	2,28	5,10
5,0 – 25,0 ng/ml.	Cortisol	23,1	24,4	17,6
–	Ind. Cortisol / Test.	7,65	10,6	3,45
20 – 250 U/L	Cr Q	332	739	388
20 – 57 mg./dl	Urea	40,6	40,0	38,2
30,0 – 300,0 ng./ml	Ferritina	109,0***	100***	66,0
0,8 – 1,4 mg./dl	Creatinina	1,4	1,4	1,1
	Densidad de orina	≥ 1,030	1,025	1,010

Los dos boxeadores que presentaban dificultades con el peso (-48 y -69 Kg.), eran los dos mejores boxeadores españoles en ese momento. Fueron los dos únicos que acudieron al preolímpico, realizando una magnífica competición, clasificándose uno de ellos (-48 Kg.) para los Juegos Olímpicos de Beijing 2008. Estos deportistas, aunque venían sufriendo con el peso, presentaron menos sufrimiento en esta última etapa, ya que conseguimos guiarlos durante los últimos días de la competición (trabajando muy directamente con el colectivo de entrenadores, los cuales cooperaron excelentemente).

Los estudios realizados permitieron controlar a estos deportistas, logrando el peso, con la menor deshidratación posible y con una alimentación que, aunque moderadamente reducida, les afectó lo menos posible, ya que era equilibrada y saludable, con un buen aporte de macronutrientes y micronutrientes.

Es importante resaltar que si los problemas identificados fueron con deportistas que recibieron seguimiento médico durante esa etapa, es seguro que estos problemas serán aún mayores y más agudos para otros deportistas en diferentes disciplinas en las que se comenten errores similares previos a los períodos de competiciones más importantes.

A continuación presentamos la situación de otro deportista de boxeo competidor en -60 Kg. y que hizo una reducción drástica y muy poco saludable de peso:

- Mientras entrenaba en su ciudad, adoptó una dieta hiperproteica con una muy deficiente reposición hidromineral, disminuyendo 8,2 Kg. de peso en 4 semanas. Esta pérdida fue a expensas del peso magro, con modificaciones del somatotipo. Ello estuvo acompañado de valores altos de Cortisol, del índice Cortisol/Testosterona, de la Urea, CPK, TGP, TGO, GGT, Creatinina; así como de valores bajos de Testosterona, Glucemia, y una alta densidad de la orina.

- Se detectaron trastornos de repolarización ventricular, acompañando de un gasto cardíaco muy disminuido a expensas del volumen sistólico. Si hubiéramos obtenido el VO^2 Máx./kg., habría tenido valores disminuidos, por lo que su rendimiento deportivo se vería francamente disminuido, tal como se ha explicado anteriormente.

- Su salud y su rendimiento deportivo mejoraron al pasar a los -64 kg. con un aporte nutricional e hidromineral adecuado.

En la *Tabla 10* se observa la seria repercusión que tuvo el gasto cardíaco de este deportista, por la deshidratación tan severa, cuando trata de alcanzar el peso el 6 de mayo.

Tabla 10. Comparación del gasto cardíaco.

Variables	6 junio 2007	6 mayo 2008
Peso corporal Kg.	63,8	60,8
Gasto Cardíaco Litros/min.	5,2	2,92
Frecuencia Cardíaca lat./min.	58	59
Volumen Sistólico ml/min.	89,6	49,5

Algunas consideraciones respecto de los estudios e intervenciones realizadas en los dos deportistas de boxeo de las categorías -48 y -69 Kg. se pueden resumir en:

- Estos boxeadores obtuvieron los mejores resultados históricos en el preolímpico de Atenas hasta esa fecha.
- La intervención médica, con el apoyo del colectivo técnico, fue un factor decisivo, ya que habitualmente presentaban serios problemas con el peso. Existió un trabajo muy unido del colectivo técnico-médico.
- Con el estudio se confirman los importantes esfuerzos que tienen que hacer los deportistas para dar el peso y que tanto afectan a la salud.
- Se recomendó pasar a las categorías de -51 y -75 Kg. respectivamente, para el siguiente ciclo olímpico de Londres 2012.

14.5.2 Diferencias entre Fatiga Crónica y Fatiga Subaguda Severa. (Pancorbo, A., 2008)

A partir de estos estudios y trabajos en los Deportes de Alto Rendimiento, he considerado oportuno definir un nuevo concepto de patología denominado Fatiga Subaguda Severa. Este es aplicable de forma específica para aquellos deportistas que compiten por categoría de peso y que intentan lograr el peso necesario para la competición de una forma drástica, a expensas de una disminución del peso magro y acompañado de una seria deshidratación con un gran desequilibrio hidromineral.

Para ver sus características específicas, en la *Tabla 11* presentamos el diagnóstico diferencial de la Fatiga Subaguda Severa con respecto al Síndrome de Sobreentrenamiento Deportivo o Fatiga Crónica.

Tabla 11. Diagnóstico diferencial entre Fatiga Crónica y Fatiga Subaguda Severa.

VARIABLES	Fatiga Crónica o Síndrome de Sobreentrenamiento Deportivo	Fatiga Subaguda Severa
Causa principal	Acumulación de fatiga residual durante más de cuatro semanas, generalmente con cuadros acumulativos de más de diez microciclos con mala relación entre la carga del entrenamiento y de la competición con respecto a la recuperación.	La causa principal es la pérdida brusca de una cantidad importante de peso corporal, muy cercana al mesociclo competitivo, acompañada de una deshidratación severa.
Forma de instalación del cuadro	Gradual, es una fatiga residual acumulativa.	Subaguda de forma brusca, en ocasiones en menos de quince días. Se presenta aproximadamente a partir de cuatro semanas antes de la competición, en ocasiones hasta en menos tiempo.
Etapas principales del entrenamiento en que ocurre y en qué deportes	Generalmente aparece entre la etapa general del período preparatorio y la etapa específica del período preparatorio, o incluso entre la etapa específica y la etapa precompetitiva, como en las disciplinas de resistencia. También ocurre en temporadas largas en los deportes de equipo, o en importantes competiciones con poca recuperación entre una y otra, como ocurre en el tenis y el atletismo.	En la etapa precompetitiva o competitiva, en pleno período de "afinamiento deportivo para la competición" cuando las cargas disminuyen tanto en volumen como en intensidad para la puesta en forma competitiva. En las disciplinas de categoría de peso como son los deportes de combate y la halterofilia.
Síntomas y signos principales	Es un cuadro general, con predominio de procesos catabólicos. A lo largo de su instalación se observan lesiones músculo-esqueléticas, se acompañan de cuadros respiratorios por inmunodepresión. Existe una afectación importante de los sistemas cardiorrespiratorio, endocrino-metabólico y neurológico e inmunológico, se pueden observar alteraciones en estudios cardiológicos de reposo y de esfuerzo y hematológicos y bioquímicos. Existen dos cuadros: uno de predominio simpático que es el principal y el otro de predominio parasimpático.	Es un cuadro general, marcado por pérdida de peso magro, a consecuencia principalmente de la deshidratación acompañada de un severo desequilibrio hidromineral y procesos de predominio catabólico. Puede existir afectación renal aguda, disminución del volumen sanguíneo y depresión inmunológica con enfermedades recurrentes. En el ECG se puede observar QT largo, onda T negativa, alteraciones del ST, extrasístoles ventriculares. El peso magro se ve muy afectado, siendo los órganos diana, el músculo, las partes blandas y el líquido sinovial por la deshidratación severa, acompañado de lesiones. Puede producir, de una forma parcial, alteración del ciclo menstrual de la deportista. El cuadro puede llegar a ser tan importante que recuerda el síndrome de sobreentrenamiento deportivo. La reiteración de este cuadro produce serios problemas de salud a largo plazo.
Rendimiento deportivo en la competición principal	Disminuye de manera importante la forma deportiva para la competición. De haberse realizado controles sistemáticos del entrenamiento a lo largo de la temporada, no sería una sorpresa y habría tiempo para la remodelación del entrenamiento. Puede verse afectado entre el 30% y el 70% de su potencial de rendimiento deportivo.	Disminuye el estado de forma deportiva de manera muy brusca y en ocasiones, es una lamentable "sorpresa" para el colectivo técnico. El deportista hasta hace dos semanas anteriores presentaba un rendimiento bueno en el entrenamiento y en competiciones de controles con algunos Kg. de más al de su peso de competición. Llega en una forma deportiva muy deficiente a la competición principal. Puede verse afectado entre el 30% y el 70% de su potencial de rendimiento deportivo.

14.5.3 Prevención la Fatiga Subaguda Severa y resultados esperados

Para prevenir la aparición de la Fatiga Subaguda Severa es necesario:

- Definir, con tiempo suficiente, la categoría de peso de competición desde el inicio de la temporada.
- Establecer que el deportista, en el período preparatorio del entrenamiento, no sobrepase los 2 kg. de más.
- Ser capaz de lograr que, una semana antes de la competición, se alcance el peso necesario sin afectación a la salud y al rendimiento deportivo.
- Control del peso corporal durante toda la temporada en ayunas, a la misma hora, y a ser posible diariamente.
- Control de la composición corporal de forma mensual.
- Estudio médico completo y parcial a lo largo de la temporada, cerca de la competición donde se evalúe la composición corporal, la condición cardiovascular de reposo, así como algunas variables hematológicas, bioquímicas y de orina.
- Prohibir la utilización de plásticos, saunas o baño de vapor.
- No usar diuréticos u otros productos para la disminución del peso, ya que son sustancias prohibidas por las agencias antidopaje.
- Asegurar una buena reposición hidromineral, alternando agua y bebidas deportivas isotónicas.
- Mantener una alimentación equilibrada y saludable. En caso necesario se podrían disminuir de la dieta normal, hasta un máximo de 500 Kcal./día. Esto garantiza disminuir 0,5 Kg. de peso corporal por semana.
- La utilización del entrenamiento de Resistencia Regenerativa: de entre el 60% y el 70% de FC Máx., durante 30 a 45 minutos después del entrenamiento, en la pista de atletismo o en la cinta, con una ropa deportiva ligera. Esto favorece un gasto

energético desde el punto de vista aeróbico y una mejora de la recuperación.

- Muy importante: El trabajo educativo con el deportista a través del entrenador, médico, psicólogo, fisioterapeuta, etc.

En todo caso, con este nuevo diagnóstico de Fatiga Subaguda Severa y las intervenciones propuestas, los resultados esperados en las disciplinas que compiten por categoría de peso son:

- Lograr el peso corporal con tiempo suficiente, antes de la competición principal, acompañado de un buen estado funcional y de salud.
- Mejorar de forma importante el rendimiento deportivo en la competición fundamental y estabilidad en los resultados.
- Rendimiento y longevidad deportiva con salud.

14.6 Comentario final

Desde inicios la década de los 80 del siglo pasado, hemos estado trabajando en esta línea de investigación y de aplicación, pero es recientemente, en el 2008, cuando hemos podido demostrar desde un enfoque integral la repercusión negativa del estado de salud del deportista, consecuencia de la Fatiga Subaguda Severa por pérdida brusca de peso corporal.

Durante los años 2007, 2008, 2009 y 2010, hemos encontrado estos problemas en diferentes deportes en que hemos podido colaborar de forma directa, como ha sido con el boxeo, judo, kárate y la lucha olímpica.

Tenemos la satisfacción de haber identificado este síndrome por primera vez en la literatura médica. Se trata de un modesto aporte a la Medicina y las Ciencias del Deporte de Alto Rendimiento.

Desde esta publicación invitamos a todos los colegas a seguir aportando nuevos estudios al respecto, con tres objetivos principales:

- Enriquecer este nuevo diagnóstico con nuevas aportaciones sobre la repercusión negativa sobre la salud y el rendimiento deportivo.
- Elaborar nuevos estudios sobre cómo identificar de forma preventiva estos problemas.
- Colaborar para que exista una mayor educación en los colectivos técnicos -de entrenadores y de los servicios médicos-, sobre cómo afrontar esta problemática, así como igualmente establecer siempre una mejor educación en los deportistas.

Texto principal de consulta:

Pancorbo, A. *Medicina y Ciencias del Deporte y Actividad Física*. Madrid: Ergon, 2008.

Otras referencias de interés:

Balson, P.D. et al. High intensity exercise and muscle glycogen availability in human. *Acta Physiol. Scand.* 165(4): 333-345, 1999.

Bompa, T. *Periodização: teoria e metodologia do treinamento*. São Paulo: Phorte, 2002.

Brownlee, K.; Moore, A.W.; Hackney, A.C. Relationship between cortisol and testosterone: influence of physical exercise. *J. Sport Scienc. Med.*, 4: 76-83, 2005.

Brownlee, K.; Viru, M.; Viru, A.; Behr, M.; Hackney, A. Exercise and the relationship between circulating cortisol and testosterone concentrations in men. *Wychowanie Fizyczne I Sport*, 50(1): 13-16, 2006.

Buchwald, D. *Defining Chronic Fatigue Syndrome*. En: *Chronic Fatigue Syndrome*. Straus, Stephen E. Nueva York: Marcel Dekker Inc, 1994.

Casa, D.J.; Armstrong, L.E.; Hillman, S.K. et al. National Athletic Trainers Association position statement: fluid replacement for athletes. *J. Athletic Training* 35(2): 212, 2000.

Carré, F. Les adaptation cardio-vasculaires lors de l'exercice musculaire. En: *Medicine do Sport*. Magnin P. Cornu, J.Y (eds.). Paris: Elipses, 1997.

Córdova, A.; Álvarez de Mon, M. *El exceso de entrenamiento o sobreentrenamiento en Inmunidad en el Deporte*. Madrid: Gymnos, 2001.

Costill, D.L et al. Muscle glycogen depletion and swimming interval training. *Journal of Swimming Research*, 4(1): 15-18, 1992.

Davis, J.M.; Bailey, S.P. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29(1): 45-57, 1997.

Echegaray, M.; Armstrong, L.E.; Maresh, C.M. et al. Blood glucose responses to carbohydrate feeding prior to exercise in the heat: effects of hypohydration and rehydration. *Int. J. Sports Nutr. & Exerc. Metabolism*, 11(1): 72-83, 2001.

Fitts, R.H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol. Rev.*, 74(1): 49-94, 1994.

Fitzgerald, L. Exercise and the immune system. *Immunology Today*, 9(11): 337-339, 1988.

Fox, E.L.; Bowers, R.W.; Rennie, D.W. *The physiological basis for exercising and sports*. 5ª ed. Philadelphia: Saunders, 1993.

Fray, A.C.; Kraemer, W.J. Resistance exercise overtraining and overreaching. Neuroendocrine responses. *Sports Med.*, 23 (2): 106-29, 1997.

Gorostiaga Ayestarán, E.; Olivé Vilás, R. *Adaptaciones al clima y horario de Pekín' 08*. Comité Olímpico Español, 2007.

- Houmard, J.A.; Costill, D.L.; Mitchell, J.B. et al. Testosterone, cortisol and creatin kinase levels in male distance runners during reduced training. *Int. J. Sports Med.*, 11(1): 41-45, 1990.
- Hooggeveen, A.; Zonderland, M. Relationships between testosterone, cortisol and performance in professional cyclist. *Int. J. Sports Med.*, 17(6): 423-28, 1996.
- Kent-Braun, S.K.; Weiner, M.W.; Massie, B. et al. Central basis of muscle fatigue in chronic fatigue syndrome. *Neurology*, 43(1): 125-131, 1993.
- Kiupers, H.; Keiser, H.A. Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. *Sports Med.*, 6(2): 79-92, 1988.
- Kraemer, W.J.; Ratames, N.A. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med.*, 35 (4):339-61, 2005.
- Lehman, M.; Foster, C.; Keul, J. Overtraining in endurance athletes: a brief reviews. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25 (7): 854-862, 1993.
- Makinnon L.T. Exercise and natural killer cells: What is the relationships? *Sports Med.*, 7(3): 141-149, 1989.
- Rodríguez, N.R.; DiMarco, N.M.; Langley, S. Position of the American Diet Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. *J. Am. Diet Assoc.*, 109(3): 509-27, 2009.
- Oppliger, R.A.; Bartok, C. Hydration testing of athletes. *Sports Med.*, 32(15): 959, 2003.
- Oppliger, R.A.; Magnes, S.A.; Popowski, L.A. ;Gisolfi, C. V. Accuracy of urine specific gravity and osmolality as indicators of hydratation status. *Int. J. Sport Nut. Exerc. Metab.*, 15 (3): 236-251, 2005.
- Pancorbo, A.; Camassola, A.P.; Kolawkosky, A. *Diagnóstico preventivo de la fatiga crónica en atletas de kayak de alto rendimiento de ambos sexos de Brasil.* (En fase de publicación).
- Platonov, V.N. *La adaptación en el deporte.* Barcelona: Paidotribo, 1990.
- Powers, S.; Howley, E. *Fisiología do exercicio: teoria e aplicação ao condicionamento físico e ao desempenho.* Ed. Manole, 2000.
- Pyne, D.; Mujika, I.; Reilly, T. Peaking for optimal performance: Research limitations and future directions. *J. Sport Sci.*, 27 (3): 195-202, 2009
- Reilly, T.; Atkinson, G.; Waterhouse, J. Travel fatigue and jet-lag. *J. Sport Sci.*, 15(3): 365-369, 1997.
- Roses, J.M; Pujol, P. Hidratación y ejercicio físico. *Apunts*, 41(150): 70-77, 2006.
- Rowland, T.W. The circulatory responses to exercise: role of the peripheral pump. *Int J. Sports Med.*, 22 (8): 558-565, 2001.
- St. Clair Gibson et al. Chronic exercise activity and fatigued athlete myopathic syndrome. *Int. SportMed. Journal*,(1)3:2000. <http://www.ismj.com/pages/311417173/ISMJ/journals/articles/Vol.-1-No.3-2000/full-articles/Chronic-Exercise-Activity-and-the-Fatigued-Athlete-Myopathic-Syndrome.asp> (03/09/2010).
- Urhausen, A.; Kindermann, W. Diagnosis of overtraining: Whats Tools do We Have? *Sports Med.*, 32(2):95-102, 2002.

- Uusitalo Arja, L.T. Overtraining making a difficult diagnosis and implementing targeted treatment. *Phys. Sportmed.*, 29(5): 35-40;43-44;49-50, 2001.
- Wilkie, D.R. Muscule fatigue. Effects of hydrogen ions and inorganic phosphate. *Fed. Proc.*, 45: 2921- 2929, 1986.
- Wilmore, J.H.; Costill, D.L. *Fisiología del esfuerzo del deporte.* 3ª ed. Barcelona: Paidotribo, 2000.



PRESIDENCIA
DEL GOBIERNO



Consejo
Superior de
Deportes