

La Química en el mundo del deporte

Pilar Martín Escudero

Médico del Centro de Medicina del Deporte (CAR y CD). Consejo Superior de Deportes.

Pilar Escudero González

Catedrático de Física y Química

Desde el inicio de la profesionalización del ámbito deportivo el rigor y la disciplina presiden a todo acontecimiento deportivo (5), ya que el interés prioritario para cualquier deportista es obtener el mejor resultado posible en una lucha contra sí mismo o contra un adversario (4).

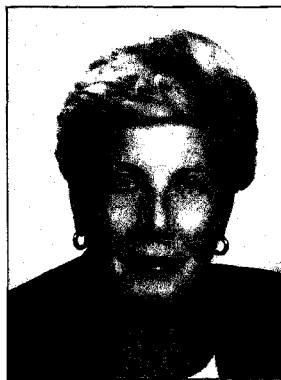
No hay duda de que la química debió nacer con la conquista del fuego por el hombre, y que sus orígenes deberían encontrarse en las artes y oficios técnicos del hombre primitivo (3). Esto llevó a que paralelamente el hombre empezase a competir con su medio habitual y a conseguir más piezas de caza; lo que indicaba unos inicios de adaptación y competencia (7).

Por otra parte, observando la evolución de la historia de la Química desde los tiempos más remotos de la Alquimia hasta la Química actual, se observa que todos los descubrimientos se relacionan con todos los aspectos de nuestra vida. De todas las civilizaciones antiguas, la más avanzada en las artes químicas y la más relacionada con la química europea moderna fueron los egipcios que pulverizaban los cascotes posteriores de un asno hervido y aromatizados para mejorar la forma física (1). Sin embargo los trabajos de los alquimistas, aunque infructuosos en el descubrimiento de la

piedra filosofal produjeron indudables progresos a la química del laboratorio, puesto que prepararon nuevas sustancias, perfeccionaron aparatos útiles y desarrollaron técnicas que constituyen la base de la investigación posterior (3).

En relación con nuestro tema "La química en el mundo del Deporte" señalaremos a Galeno, médico griego (año 130/200) por su desarrollo de un sistema completo de fisiología. Discutido y ampliado por Vesalio, anatomista flamenco (año 1514/1564) cuyo libro *De corporis Humani Fabrica* (La anatomía del cuerpo humano) se considera el primer libro correcto de anatomía humana. Razes, médico y alquimista árabe (año 850/923) que preparó lo que hoy se conoce como "escayola de París", describiendo su utilidad para escayolar los huesos fracturados (2).

Ya más cerca de nuestros días, Roentgen, Físico alemán descubre los Rayos X que posteriormente nos llevan a la radiación electromagnética y los espectros, el espectrómetro de masas, técnicas de



gran importancia como veremos posteriormente empleados en el deporte.

Esto ha determinado que el deporte haya sido objeto de la ciencia o mejor dicho la ciencia se haya introducido en el ámbito deportivo con el fin de ayudar a mejorar el rigor y la eficacia de los éxitos deportivos (5).

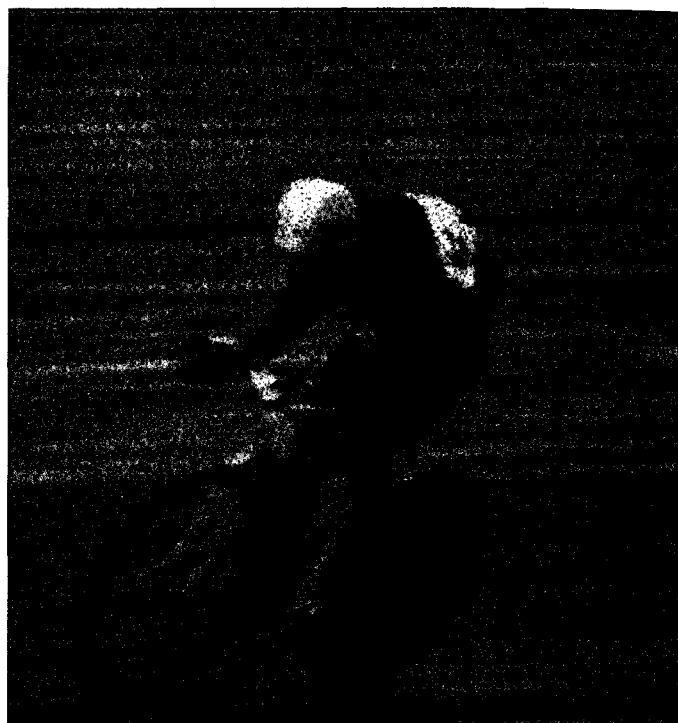
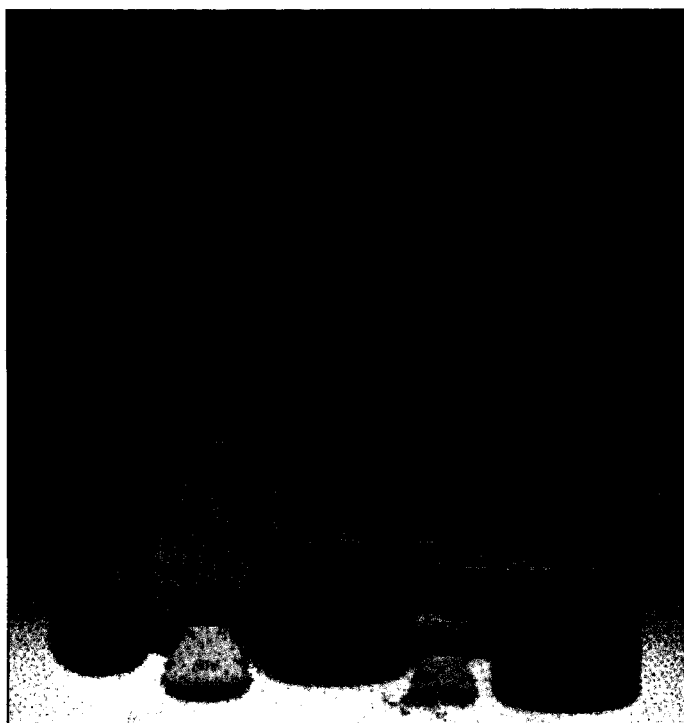
Entre el amplio abanico de tendencias de este siglo una de las características es que la ciencia, entre otro tipo de fenómenos, ha potenciado la especulación sobre todas las parcelas de nuestra vida y no por eso menos en la esfera del deporte (5).

Dado el carácter interdisciplinario de todas las ciencias modernas el estudio del deporte se ha servido de las técnicas desarrolladas desde la esfera de la química tanto en el ámbito de la mejora del rendimiento o la medicina del deporte, como para el control del uso de sustancias no permitidas dentro de la práctica deportiva del deportista de la alta competición.

MÉTODOS ANALÍTICOS USADOS EN EL DEPORTE

El desarrollo de los métodos analíticos ha sido espectacular en este siglo y sobre todo en áreas biomédicas. Las parcelas fundamentales de la introduc-

LA CIENCIA,
ENTRE OTRO TIPO
DE FENOMENOS,
HA POTENCIADO LA
ESPECULACION SOBRE
TODAS LAS PARCELAS
DE NUESTRA VIDA
Y NO POR ESO MENOS
EN LA ESFERA
DEL DEPORTE.



DIFERENTES TRABAJOS DE INVESTIGACION HAN EVIDENCIADO QUE LOS SUJETOS ENTRENADOS PRESENTAN UN DESPLAZAMIENTO A LA DERECHA DEL UMBRAL ANAEROBICO.

ción de métodos analíticos en el deporte podríamos resumirlo en dos: 1.- la mejora del rendimiento desde el punto de vista médico-deportivo y 2.- la lucha contra el consumo de sustancias consideradas dopantes.

La actividad física es un elemento de nuestra vida y de los deportistas, tan complejo, que

su medición y valoración tiende a ser altamente complicado y difícil. Esto ha facilitado el desarrollo de exámenes tanto durante como antes de la realización de ejercicio físico y cuyo fin podríamos resumirlo en lo siguiente (6,9):

- Ayudar al diagnóstico de enfermedades.
- Valorar la capacidad cardiovascular y pulmonar, así como la resistencia muscular del individuo.
- Evaluar la seguridad del entrenamiento y posibilitar el desarrollo de una prescripción de ejercicio sano y efectivo.
- Valorar la eficacia de las intervenciones en la prescripción de entrenamiento y seguir el proceso de adaptación del individuo que realiza

ejercicio físico. Dentro de este interés conjunto, los métodos analíticos utilizados han sido amplios y variados, pasando a describirlos a continuación.

Diferentes trabajos de investigación han evidenciado que los sujetos entrenados presentan un desplazamiento a la derecha del umbral anaeróbico, es

decir, una acumulación de lactato más tardía en relación con los no entrenados, para una misma intensidad de ejercicio (8,10). La base fisiológica sobre la que asientan los métodos ventilatorios o respiratorios, se refiere a los cambios inducidos en la respiración fruto de la compensación de la acidosis láctica (10).

Cuando se busca valorar el umbral aeróbico, los índices respiratorios que más información nos van a reportar, por los cambios que sufren son los siguientes (ver Figura 2):

- El volumen respiratorio: este volumen sufre dos cambios en su linealidad, siendo el primero el más coincidente con el umbral aeróbico.
- El Volumen de dióxido de carbono.
- La fracción respiratoria de oxígeno.

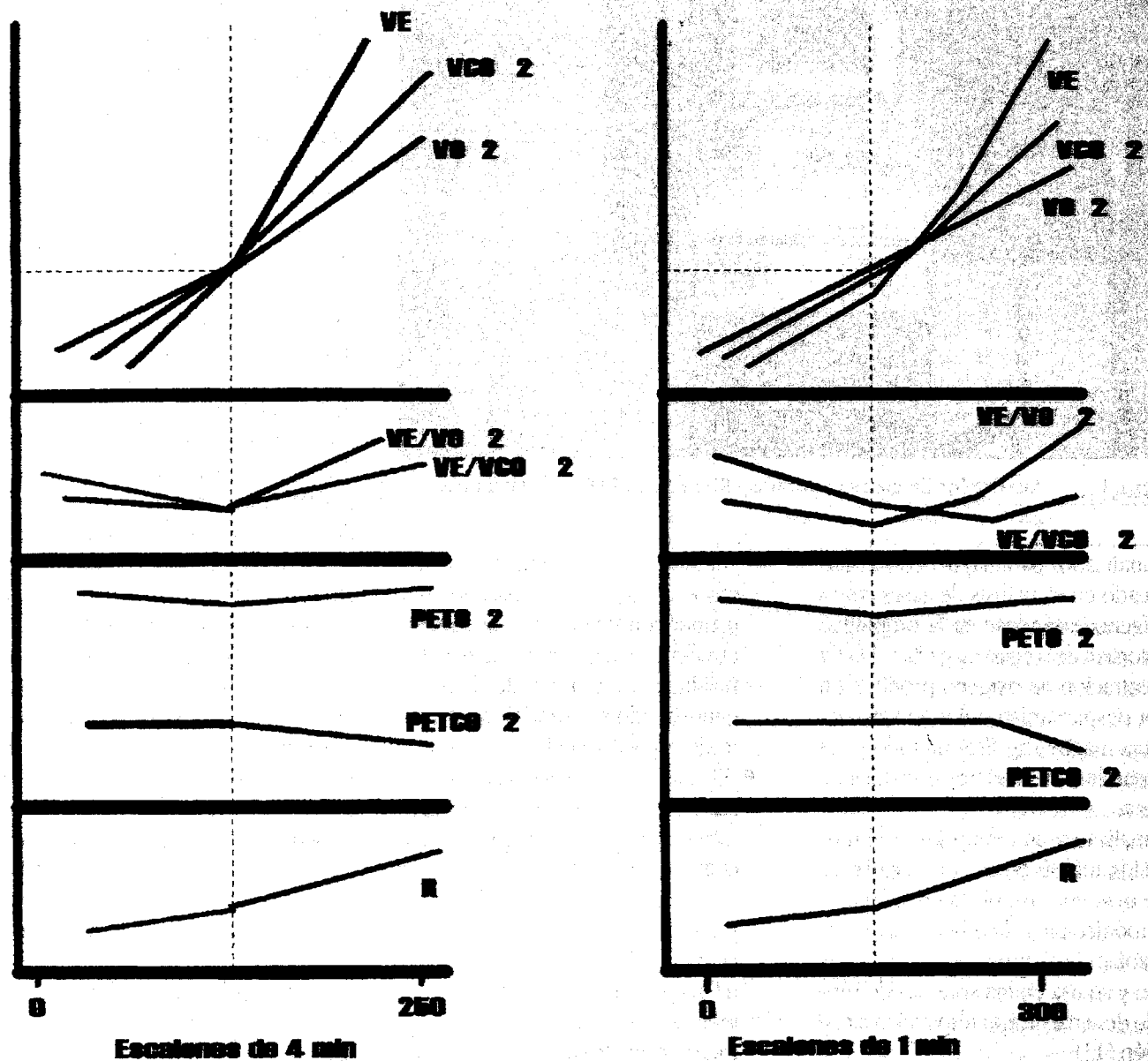
- El equivalente ventilatorio para el oxígeno o cociente entre la ventilación y el consumo máximo de oxígeno el cual presenta un descenso del mismo coincidiendo con el umbral aeróbico.

En el caso del umbral anaeróbico, los índices ergoespirométricos valorables en este supuesto serían (ver Figura 2):

- El volumen respiratorio el cual sufre un incremento muy significativo y que está relacionado con el umbral anaeróbico.
- La fracción espiratoria de anhídrido carbónico.
- El volumen de dióxido de carbono.
- El cociente respiratorio (que actualmente está en desuso)
- El equivalente ventilatorio para el oxígeno o el cociente entre la ventilación y el consumo máximo de oxígeno, que presenta una estabilización en la zona aeróbica-anaeróbica y un incremento radical coincidiendo con el umbral anaeróbico.
- La presión de oxígeno al final de la espiración.

(**VE**: Ventilación. **VCO₂**: Volumen de dióxido de carbono. **VO₂**: Consumo máximo de oxígeno. **VE/VO₂**: Equivalente ventilatorio para el oxígeno. **VE/VCO₂**: Equivalente ventilatorio para el anhídrido carbónico. **PETO₂**: Presión de oxígeno al final de la res-

Figura 2



Cambios ocurridos en los determinantes del umbral ventilatorio, en test incrementales de 1 y 4 minutos de duración. Lopez Chicharro J, Lejido Arce J.C. Bases fisiológicas y aplicaciones. Interamericana Mc Graw-Hill 1991. Madrid.

piración. **PETCO₂**: Presión de anhídrido carbónico al final de la respiración. **R**: Cociente respiratorio.)

Para su determinación se debe recurrir a los analizadores de gases donde se evalúan la composición de diferentes mezclas de gases espirados a través de unas mascarillas de respiración y tubas (figura 3) y cuyos sistemas de análisis existentes en la actualidad pueden dividirse en cuatro tipos (13):

- Espectrofotómetro de masas.
- Analizador celular de circonio.
- Analizador paramagnético.
- Analizador infrarrojo.

El espectrofotómetro de masas es el más seguro y preciso. Usa pequeñas cantidades de gas y obtiene una respuesta rápida del gas analizado, pudiendo medir múltiples gases respiratorios.

El analizador celular de circonio se usa para la determinación de oxígeno. Emplea

una membrana semipermeable de óxido de circonio y calcio, que funciona como un electrolito sólido. El sistema automático mejora el tiempo de respuesta con un circuito electrónico. Sin embargo, este sistema necesita ser reemplazado anualmente en función de la concentración de oxígeno analizado. El equipo mide la diferencia en el potencial a través de la membrana, inducido por la presencia de oxígeno.

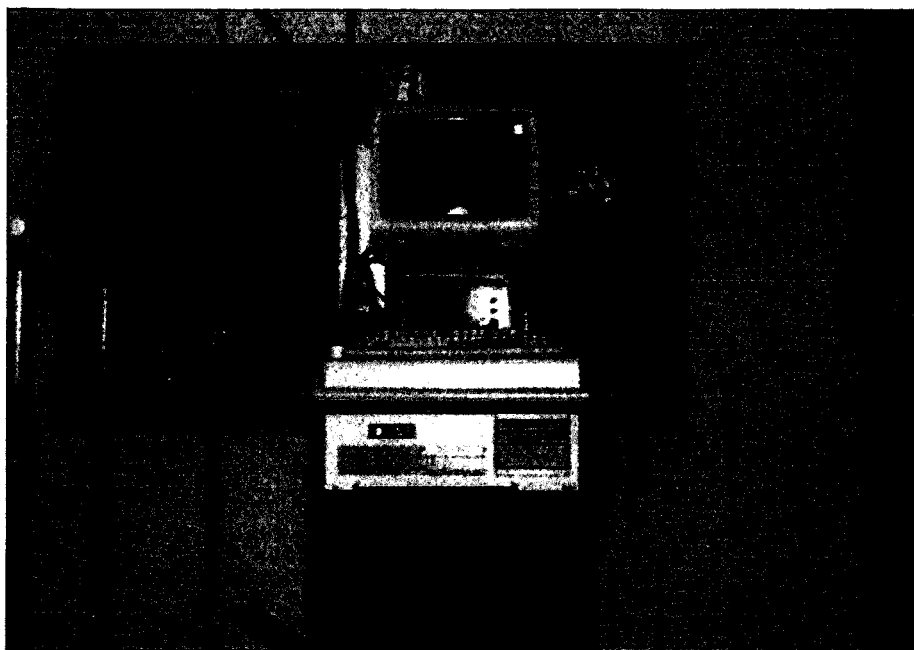


Figura 3 Analizador de gases espirados (EOS-Sprint JAEGER, Alemania).

El analizador paramagnético ha sido empleado en el análisis de gases como el oxígeno basándose en la propiedad de distorsión de la aguja magnética. Mayor concentración de oxígeno produce un mayor desplazamiento del sensor y de la aguja magnética. Este método es el que usan los analizadores portátiles de oxígeno.

El analizador de infrarrojos es el usado en los análisis de anhídrido carbónico. Se basa en la propiedad del anhídrido carbónico para absorber radiaciones infrarrojas. El tiempo de respuesta es rápido y se usa en los sistemas de procesado de señal de tipo respiración a respiración (13).

En muchos casos es necesario la medición directa de ácido láctico como parámetro directo de los umbrales o del nivel de entrenamiento. Dentro de las determinaciones directas de este metabolito tenemos: 1.- el método fotoenzimático, 2.- el método electroenzimático-enzimopolarográfico y 3.- el análisis por inyección de flujo (11).

- El método fotoenzimático se basa en las determinaciones de incrementos de NADH (nicotinamida dinucleotido reducido NADH+H⁺ o simplemente NAHD) en la reacción enzimática lactato-piruvato. La cantidad de NADH formado es proporcional a la concentración de L-lactato (11).

- El método electroenzimático-enzimopolarográfico esta basado en la proporción lineal entre la concentración de lactato en la muestra y la producción de peróxido de hidrógeno siendo registrado en un electrodo específico (11).
- El análisis por inyección de flujo se basa en el mismo principio que el método fotoenzimático, que es la reacción entre el lactato y NAD con la formación de piruvato y NADH. El incremento del NADH es medido fluorometricamente. El método se valida al comparar con el colorímetro y métodos fluorométricos enzimáticos manuales usando micromuestras de 25 micras en el laboratorio de esfuerzo (11).

En el afán de conseguir aumentar su rendimiento deportivo, dada la naturaleza altamente competitiva del deporte moderno, los deportistas han utilizado desde hace tiempo todos los medios que están a su alcance. Entre estos existen algunos que perjudican

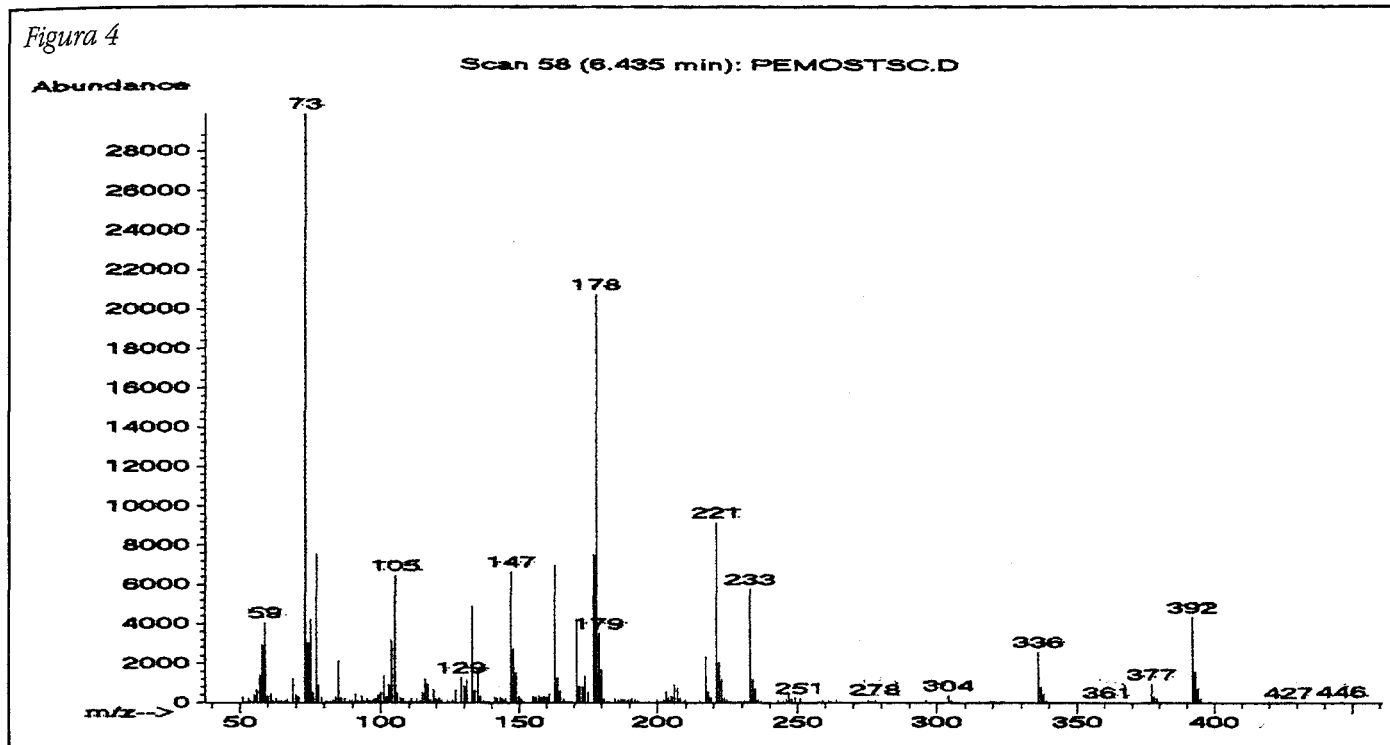
gravemente la salud del deportista que lo usa y que le sitúan en ventaja desleal frente a sus competidores (1). Pero no es hasta 1963 cuando el Consejo de Europa define el dopaje y en 1967 el Comité Olímpico Internacional (COI) elabora la primera lista de sustancias dopantes (1). Desde entonces, esta lista ha ido evolucionando y actualmente está constituida por tres grandes grupos de clases o métodos prohibidos. El primero lo constituyen los sustancias dopantes (estimulantes: ej: anfetamina, narcóticos ej: pentazocina, esteroides anabolizantes ej: estanozolol, diuréticos y hormonas peptídicas ej: hormona del crecimiento). El segundo, los métodos de dopaje que incluye el dopaje sanguíneo y las manipulaciones que son cualquier proceso físico, químico o farmacológico para disminuir la administración de las sustancias del primer grupo. Al último apartado corresponden las sustancias sujetas a ciertas restricciones como el alcohol, cannabis, anestésicos locales, corticosteroides y los antagonistas beta-adrenérgicos.

La lucha eficaz contra el dopaje es posible mediante el examen analítico de las muestras de orina recogidas a los deportistas inmediatamente después de la competición o en periodo de entrenamiento. La puesta a punto de unos procedimientos analíticos precisos permite aportar pruebas seguras de abuso de sustancias dopantes. Es por ello, que un requisito indispensable para la realización de un control de dopaje correcto estriba en que el laboratorio esté

suficientemente equipado y además posea una larga experiencia en el análisis de fluidos biológicos.

Las técnicas analíticas utilizadas en un laboratorio de control del dopaje son las del tipo cromatográfico, debido a su gran poder de separación, acopladas a sistemas de detección de alta sensibilidad y especificidad. Cuando se acopla con un espectrómetro de masas se convierte en insustituible para que los correspondientes pro-

EN EL AFAN DE
CONSEGUIR
AUMENTAR SU
RENDIMIENTO
DEPORTIVO, DADA LA
NATURALEZA
ALTAMENTE
COMPETITIVA DEL
DEPORTE MODERNO,
LOS DEPORTISTAS HAN
UTILIZADO DESDE
HACE TIEMPO TODOS
LOS MEDIOS QUE
ESTAN A SU ALCANCE.



Espectro de masas

cesos analíticos cumplan las garantías exigidas (12). La espectrometría de masas es indudablemente la técnica más específica para la identificación de compuestos orgánicos y puede emplearse con éxito para la confirmación de la mayoría de las sustancias prohibidas en el deporte.

Adicionalmente, algunas técnicas inmunológicas pueden aportar información complementaria de gran interés.

El progreso en la cromatografía y en la espectrometría de masas, ha servido para incrementar la sensibilidad y la certeza en la confirmación en el control del dopaje y a su vez ha permitido efectuar un control de dopaje rutinario, con un alto coste pero justificable si se piensa en el control base de la prevención del grave problema que supone el dopaje para el deportista y para el deporte en general (12). Por medio de la cromatografía se consigue detectar un gran número de sustancias prohibidas en un único proceso analítico. Con la espectrometría de masas obtenemos la confirmación inequívoca ya que cada sustancia muestra un espectro de masas característico.

La cromatografía es un método físico de separación que se caracteriza porque los componentes de una mezcla se distribuyen entre dos fases no miscibles: una normalmente fija, denominada "fase estacionaria" con una gran área y otra fluida denominada

"fase móvil" que infiltra por el estacionario; siendo la velocidad de migración de cada sustancia por separar, función de la distribución de equilibrios de ambas fases (12).

La espectrometría de masas es una técnica de análisis estructural basada en la separación y medida de las masas de los iones de un compuesto, generalmente orgánico. Ofrece informa-

ción sobre la masa molecular de cada sustancia estudiada, cuyos iones, tras ser obtenidos al fragmentarse la molécula, se separan según la relación entre su carga y su masa, obteniéndose unas señales que, una vez registradas en forma tabular o como diagrama de barras, constituyen el espectro de masas. Este, específico de cada sustancia, proporciona información sobre su estructura, representándose gráficamente la abundancia relativa de sus iones en función de sus respectivas masas (12) (Figura 4).

La obtención de un espectro de masa se basa en el bombardeo, con electrones de baja energía, del vapor de la muestra que se ha de analizar, en una cámara a baja presión (alto vacío). Como consecuencia de

LA ESPECTOMETRIA DE MASAS ES UNA TÉCNICA DE ANALISIS ESTRUCTURAL BASADA EN LA SEPARACION Y MEDIDA DE LAS MASAS DE LOS IONES DE UN COMPUESTO, GENERALMENTE ORGANICO.

ello, se ionizan positivamente las moléculas en fase de vapor, las cuales además de sufrir roturas, originándose fragmentaciones de menor masa molecular. Estos iones y fragmentos se aceleran fuera de la cámara de ionización, entrando en un estrecho campo magnético bajo cuya influencia se selecciona en función de la relación entre su carga y su masa (12). El espec-

trómetro de masas se usa acoplado a un cromatógrafo de gases-liquido, actuando como detector de este instrumento (12).

Entre las técnicas inmunológicas con posibilidad de ser usadas el inmunoensayo de micropartículas es la más empleada. Esta técnica, mediante la cual se analizan compuestos de alto peso molecular, se basa en la utilización de micropartículas de 0.47 mm de diámetro como fase sólida; las micropartículas quedan retenidas en un filtro de fibra de vidrio, mientras que el resto de los compuestos no unidos se eliminan por lavados de la matriz. Esta técnica permite la realización de técnicas tipo "sandwich" y competitivo (12).

AQ

Entre las técnicas inmunológicas con posibilidad de ser usadas el inmunoensayo de micropartículas es la más empleada. Esta técnica, mediante la cual se analizan compuestos de alto peso molecular, se basa en la utilización de micropartículas de 0.47 µm de diámetro como fase sólida; las micropartículas quedan retenidas en un filtro de fibra de vidrio, mientras que el resto de los compuestos no unidos se eliminan por lavados de la matriz.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Arnaudas C, Martín Escudero P. Técnicas del Dopaje. "Atletismo" 1990; 56-58.
- 2.- Asimov I. Enciclopedia Biográfica de Ciencia y Tecnología. Ed Revista de Occidente Madrid 1973.
- 3.- Babor J. A. Ibarz J.I. Química General Moderna. Ed Marín S A Barcelona 1964.
- 4.- Barreau JJ, Morne JJ. Epistemología y Antropología del deporte. Ed Alianza Madrid 1984.
- 5.- Coca S. El Hombre Deportivo.. Ed Alianza Madrid 1983.
- 6.- Cox MH. Programa de entrenamiento y adaptación cardiopulmonaria. Clínicas de Medicina Deportiva 1991; 1: 21-36.
- 7.- Harre D. Teoría del entrenamiento deportivo. La Habana 1983.
- 8.- López Chicharro J, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio 1995. Ed. Médica Panamericana S.A. Madrid.
- 9.- Ortega Sánchez- Pinilla R, Pujot Amat P. Estilos de vida saludables: Actividad Física. Ed Ergon SA. Madrid 1997.
- 10.- Rodríguez FA. Umbral anaeróbico y entrenamiento. RED Rev Entren Deport 1987; 1: 22-32.
- 11.- Rodríguez FA, Banquells M, Pons V et al. A comparative study of blood lactate analytic methods. Int J Sports Med 1992; 13: 462-466.
- 12.- Rodríguez Bueno C. Estudio de los elementos de análisis utilizados y propuestos como detectores de la testosterona en el control analítico del dopaje. Tesis Doctoral Madrid 1993.
- 13.- Zeballos J, Weismann IM. Behind the scenes of cardiopulmonary exercise testing. Clin Chest Med 1994; 15: 193-214.